

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический универси-
тет»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Выпускная квалификационная работа

по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отрас-
лям)

профилю подготовки Металлургия

специализации Технология и менеджмент в металлургических производствах

Идентификационный код ВКР: 159

Екатеринбург 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический универси-
тет»

Институт Инженерно-педагогического образования
Кафедра Металлургии, сварочного производства и методики профессиональ-
ного обучения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Зав. Кафедрой МСП

_____ Б.Н. Гузанов

«_____» _____ 2017г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Исполнитель:

студент группы МП-402

(подпись)

_____ Кашапов Р.И.
(Ф.И.О.)

Руководитель:
Ученое звание, степень, должность

(подпись)

Ведерников М.В. Ст. преподава-
тель
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Нормоконтролер:
Ученое звание, степень, должность

(подпись)

Категоренко Ю.И.к.т.н доцент
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Екатеринбург 2017

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 72 страницах, содержит 8 рисунков, 11 таблиц, 10 источников литературы.

Ключевые слова ПЕНОПОЛИСТИРОЛ, ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ, ДЕСТРУКЦИЯ.

Цель работы - изучение способа литья по газифицируемым моделям, технологических процессов данного способа литья, температуру плавления и деструкции, скорость плавления.

Основные задачи:

1. провести исследование температуры плавления и деструкции пенополистирола марки ПСВ-Л
2. Провести исследование скорости плавления пенополистирола
3. разработать методику выполнения лабораторной работы по исследованию литья по газифицируемым моделям

					НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Кашипов Р.И.			Исследование деструкции пенополистирола при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов				Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Ведерников М.В.									3	72
Реценз.									РГППУ			
Н. Контр.		Категоренко Ю.И.										
Утверд.		Гузанов Б.Н.										

Содержание

Введение.....	6
Теоретическая часть.....	9
1. История развития литья по газифицируемым моделям.....	9
2. Сущность и технологические схемы процесса.....	17
2.1.Технология литья по газифицируемым моделям.....	22
2.2. Изготовление отливок по газифицируемым моделям...	25
2.3 Условия формирования отливки.....	26
2.4. Особенности проектирования технологического процесса.....	27
2.5. Изготовление отливок в песчаных формах без связующего.....	29
2.6.Выбор формовочной смеси и метода формовки.....	29
2.7. Влияние продуктов разложения модели на качество поверхности отливок.....	30
3. Изготовление газифицируемых моделей.....	31
3.1. Материалы для изготовления газифицируемых моделей.....	31
3.2. Предварительная тепловая обработка.....	32
3.3. Изготовление моделей в пресс-формах.....	34
3.4. Изготовление моделей из пенополистирольных плит.....	36
4. Противопригарные покрытия.....	39
5. Исходные материалы для моделей.....	44
5.1. Полистирол.....	44
5.2. Методы изготовления полистирола.....	45
5.2.1. Прессовый метод.....	45
5.2.2. Беспрессовый метод.....	46
6. Деструкция полистирола.....	46

6.1. Термическая деструкция пенополистирола.....	46
6.2. Деструкция пенополистирола в условиях медленного нагрева.....	47
6.3. Высокотемпературная деструкция пенополистирола.....	48
Экспериментальная часть.....	49
7. Описание установки.....	49
8. Проведение опытов.....	50
9. Анализ полученных результатов.....	51
10. Определение скорости плавления пенополистирола.....	56
Методическая часть.....	63
11. Лабораторная работа на тему: «Литьё по газифицируемым моделям».....	63
Экологическая часть.....	67
Заключение.....	71
Список использованных источников.....	72

Введение

Литьё - технологический процесс изготовления отливок, заключающийся в заполнении литейной формы расплавленным материалом (литейным сплавом, пластмассой, некоторыми горными породами) и дальнейшей обработке полученных после затвердевания изделий.

Известно множество разновидностей литья:

- в песчаные формы (ручная или машинная формовка);
- в стержневые формы
- в многократные (цементные, графитовые, асбестовые формы);
- в оболочковые формы;
- по выплавляемым моделям;
- по замораживаемым ртутным моделям;
- центробежное литье;
- в кокиль;
- литьё под давлением;
- по газифицируемым моделям;
- по выжигаемым моделям;
- вакуумное литьё;
- электрошлаковое литьё;

Так как разновидности литья различаются одновременно по многим разнородным признакам, то возможны и комбинированные варианты, например, электрошлаковое литьё в кокиль.

При наиболее распространённом литьё в песчаные формы изготавливается литейная модель (ранее - деревянная, в настоящее время часто используются пластиковые модели, полученные методами быстрого прототипирования), копирующая будущую деталь. Модель засыпается песком или формовочной смесью (обычно песок и связующее), заполняющей пространство между ею и двумя открытыми ящиками (опоками). Отверстия в детали образуются с помощью размещённых в форме литейных песчаных стержней, копирующих форму будущего отверстия. Насыпанная в опоки смесь уплот-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

няется встряхиванием, прессованием или затвердевает в термическом шкафу (сушильной печи). Образовавшиеся полости заливаются расплавом металла через специальные отверстия - литники. После остывания форму разбивают и извлекают отливку. После чего отделяют литниковую систему (обычно это обрубка), проводят термообработку.

Литьём называют также продукцию литейного ста, художественные изделия и изделия народных промыслов, полученные с помощью литья. Сущность процессов литья металлов и задача литейного производства. Литьем (или литейным производством) называют метод производства, при котором изготавливают фасонные заготовки деталей путём заливки расплавленного металла в заранее приготовленную литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки детали. После затвердевания и охлаждения металла в форме получают отливку-заготовку детали. Основной задачей литейного производства является изготовление литейных сплавов отливок, имеющих разнообразную конфигурацию с максимальным приближением их формы и размеров к форме и размерам детали (при литье невозможно получить отливку, форма и размеры которой соответствует форме и размерам детали).

Литейное производство - один из старейших и до настоящего времени основных способов получения металлических изделий и заготовок для различных отраслей промышленности.

Литые детали используются не только в машиностроении и приборостроении, они применяются в домостроении и дорожном строительстве, являются предметами быта и культуры. Данный способ позволяет получать заготовки и детали из разных сплавов практически любой конфигурации, с любыми структурой, макро - и микрогеометрией поверхности, массой от нескольких граммов до сотен тонн, с любыми эксплуатационными свойствами.

Наиболее перспективным из этих способов литья является способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, литьем по газифицируемым моделям.

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Целью данной работы является изучение способа литья по газифицируемым моделям, технологических процессов данного способа литья. Изучение понятия деструкция пенополистирола. Описание видов деструкции пенополистирола, экологических проблем данного способа литья.

Задачами данной работы является ознакомление с особенностями литья по газифицируемым моделям, сущностью и технологическими схемами процесса литья по газифицируемым моделям, основными преимуществами и недостатками данного способа литья. Определение температур начала плавления и начала деструкции литейного пенополистирола марки ПСВ-Л в ходе проведения экспериментов и обработка полученных результатов. Определение скорости плавления пенополистирола и разработка лабораторной работы на тему: «Литьё по газифицируемым моделям.»

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Теоретическая часть

1. История развития литья по газифицируемым моделям

Литье по газифицируемым моделям - изготовление отливок свободной заливкой расплавленного металла в разовую форму, рабочая полость которой получена после выжигания модели, изготовленной из канифоли, блочного полистирола, пенополистирола и других пластмасс в пресс-формах. Литье по газифицируемым моделям - технология, позволяющая получить отливки по точности равные литью по выплавляемым моделям при уровне затрат сопоставимом с литьем в землю. Литьё по газифицируемым моделям как новый технологический процесс появился в середине 50-х годов. Его главным назначением было повысить точность литья при значительном уменьшении затрат на оборудование и материалы по сравнению с технологией литья по выплавляемым моделям.

Литьем по выжигаемым моделям можно производить отливки в различные формы: в обычные разовые, в сухой песок, в формы из ферромагнитных материалов, находящихся под действием магнитного поля. Модель может быть вырезана из пенопласта или изготовлена из вспенивающегося полистирола в пресс-формах. В первом случае она не отличается точностью от деревянной модели, но не требует больших затрат при изготовлении. Поэтому если необходимо изготовить одну сложную отливку, то целесообразность такой модели очевидна. Модели, изготовленные в пресс-формах на специальных машинах, применяются в массовом производстве и имеют точность, сопоставимую с выплавляемыми моделями. Особенностью рассматриваемого способа литья является процесс термодеструкции, связанный с выделением газов и продуктов разложения материала модели. Этот факт необходимо учитывать при разработке технологии и подборе материалов.

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) является одним из новейших способов производства отливок, появившихся в результате научно-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

технической революции во второй половине XX в. наряду с такими технологическими процессами, как вакуум-пленочная формовка, непрерывное литье, литье под низким давлением, импульсная формовка и др. Наибольший интерес у литейщиков вызвало сообщение о способе литья по моделям, которые не удаляются из формы, а остаются в ней и газифицируются под действием тепловой энергии металла, заливаемого в форму. Такая технология, названная литьем по газифицируемым моделям, решала важнейшую задачу литейного производства - повышение точности отливок до уровня литья по выплавляемым моделям при издержках производства литья в песчано-глинистые формы.

В единичном производстве пенопластовые модели изготавливают механической обработкой вручную с помощью пил, рубанка, фуганка и на станках (строгальных, фрезерных, сверлильных и шлифовальных). Модели часто изготавливают по частям, которые затем соединяют склеиванием, сваркой, спеканием.

В крупносерийном производстве модели из полистирола получают методом вспенивания в металлических или пластмассовых формах. В форму, полость которой имеет конфигурацию и размеры модели, загружают полистироловые гранулы. При нагревании гранулы вспениваются, расширяются, спекаются между собой, полностью заполняют полость формы. После охлаждения модель извлекают из формы.

Способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) основан на применении отличного от традиционного подхода к формообразованию. При традиционном подходе форма изготавливается по удаляемой из нее после формовки модели. Это обуславливает применение сложной оснастки, приводит к удорожанию процесса изготовления форм, снижает размерную точность получаемых отливок и повышает общую трудоемкость их изготовления. При литье по газифицируемым моделям формы изготавливаются по моделям, которые не удаляются, а остаются в форме, подвергаясь затем газификации в процессе ее заливки сплавом. Это позволяет эффективно решить проблему

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

повышения точности отливок при издержках производства, меньших, чем при обычном литье в песчано-глинистые формы. [1]

Впервые данный способ литья был применен американским архитектором Г. Шроером для изготовления художественной отливки. Газифицируемая модель была изготовлена из пенополистирола. Патент на способ литья по пенополистироловым моделям был получен в США в 1958 г. После этого способ начал широко распространяться во всех промышленно развитых странах. В 1968 г. в ФРГ, Англии, США и Японии было изготовлено 350000 т отливок с использованием данного способа литья. Диапазон массы изготавливаемых отливок - от нескольких килограммов до десятков тонн. К настоящему времени разработано около 20 различных модификаций технологического процесса изготовления отливок при ЛГМ, создано технологическое оборудование, обеспечивающее получение отливок из разных сплавов при индивидуальном, серийном и массовом производстве. Применение отдельных модификаций ЛГМ позволяет изготавливать отливки, по точности, не уступающие отливкам, полученным литьем под давлением, а по качеству поверхности - полученным кокильным литьем при несравнимо меньших затратах на производство.

В СССР освоение процесса литья по газифицируемым моделям было начато в 1963 г. инженером А.Р. Чудновским, которому было выдано авторское свидетельство на отечественный вариант ЛГМ. В 1965 г. при НТО «Машпром» был создан Комитет литья по газифицируемым моделям, который функционирует до настоящего времени. Комитет провел большую работу по организации и координации научно-исследовательских работ и пропаганде нового метода литья. Промышленное применение ЛГМ осуществлено на многих предприятиях. Разработаны теоретические основы производства отливок в формах из песка без связующих компонентов, теория формирования отливок, созданы новые марки литейного пенополистирола ПС-1, ПС-4, ПСБ и ПСВ-Л. Применение ЛГМ позволило по сравнению с обычным процессом литья в песчано-глинистые формы снизить трудоемкость изготов-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

ления модели ка 30 % и трудоемкость формовки - на 25 %. При этом повысилась точность отливок. Разработаны процессы получения отливок в вакуумированных формах из песка (ГАМОЛИВ) и с применением вакуума и заливки форм под регулируемым давлением (ГАМОДАР). В настоящее время отмечается повышенный интерес к ЛГМ в связи с возросшими требованиями к качеству литья и гибкостью данной технологии при сравнительно низких затратах на ее внедрение. [1]

В 70-х годах изобретен способ литья в магнитные формы по выжигаемым моделям. Его суть заключается в следующем. Пенополистироловая модель засыпается ферромагнитным формовочным материалом, на который накладывается магнитное поле. Под действием магнитного поля частицы ферромагнитного материала связываются в единое целое. Заливку производят как обычно. После снятия магнитного поля формовочный материал высыпается из опоки. Такой способ получения отливок сохраняет основные достоинства литья в формы из сухого кварцевого песка и в то же время устраняет их основной недостаток-образование засоров. Однако этот способ нашел применение для получения отливок сравнительно небольшой массы и простой конфигурации. Наибольшее уплотнение получает материал формы, расположенный у стенок, которые простираются вдоль магнитных линий. Поэтому для литья массивных и сложных отливок требуется большая напряженность магнитного поля, для создания которого необходимы магниты очень больших размеров.

Расширению объемов производства отливок ЛГМ в различных странах способствовало дальнейшее совершенствование технологии и оборудования. Так, фирмы «Castek» (Англия) и «Teksid» (Италия) разработали технологический процесс под фирменным названием Policast, который включает в себя технологию изготовления моделей, сборку модельных блоков, их окраску и формовку, заливку формы металлом. Фирмы «FATA» и «FiatTeksid» построили в Италии два цеха для производства коллекторов автомобильных двигателей по Ро//ш5/-процессу. В одном цехе выпускаются выхлопные коллек-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

торы из серого чугуна на автоматической линии производительностью 40 форм в час, причем в форме одновременно отливаются 8 коллекторов. В другом цехе на автоматической линии производительностью 50 форм в час отливаются впускные коллекторы из алюминиевого сплава.

Мировая практика свидетельствует о постоянном росте производства отливок данным способом, которое в 2007 году превысило 1,5 млн т/год, особенно популярна она в США и Китае (в одной КНР работает более 1,5 тыс. таких участков), где всё больше льют отливок без ограничений по форме и размерам. В песчаной форме модель из пенопласта при заливке замещается расплавленным металлом, так получается высокоточная отливка. Чаще всего форма из сухого песка вакуумируется на уровне 50 кПа, но также применяют формовку в наливные и легко уплотняемые песчаные смеси со связующим. Область применения — отливки массой 0,1—2000 кг и более, тенденция расширения применения в серийном и массовом производстве отливок с габаритными размерами 40—1000 мм, в частности, в двигателестроении для литья блоков и головок блоков цилиндров и др.

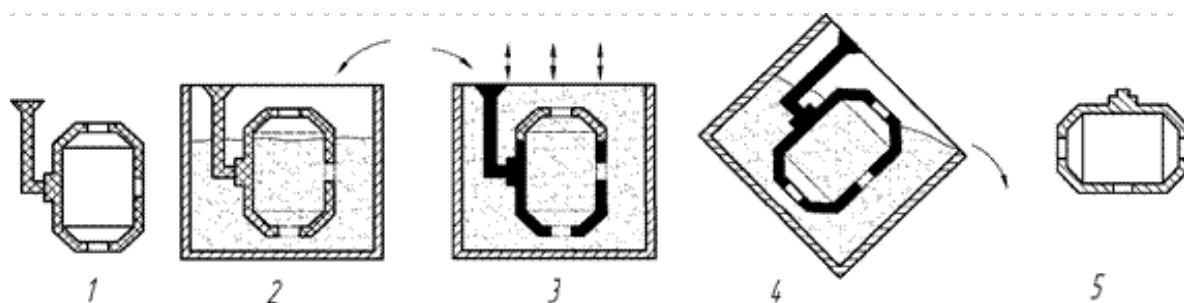


Рисунок 1- Схема процесса получения отливок по газифицируемым моделям:

1– модель; 2 – изготовление форм; 3 – заливка форм; 4 – выбивка форм; 5 – отливка.

На 1 тонну годного литья расходуется 4 вида модельно-формовочных (неметаллических) материалов:

- кварцевого песка — 50 кг,
- противопопригарного покрытия — 25 кг,
- пенополистирола — 6 кг,
- плёнки полиэтиленовой — 10 кв.м.

Отсутствие традиционных форм и стержней исключает применение формовочных и стержневых смесей, формовка состоит из засыпки модели песком с повторным его использованием на 95-97 %.

Это также повышает точность отливок. Кроме того, упрощает процесс формовки, исключает затраты на изготовление стержней, подготовку материалов для их изготовления, транспортировку, улучшает экологию за счет исключения из употребления вредных связующих и т.д. И в конце концов, значительно сокращает цикл производства литья и его себестоимость.

Возрастающий поток патентной информации свидетельствует о серьезном интересе к этой технологии всех ведущих машиностроительных компаний. Технологические потоки и пространственное размещение моделей в объеме контейнерной формы удобно предварительно имитировать на ЭВМ, а при изготовлении модельной оснастки все чаще применяют 3D-графику для программирования станков с ЧПУ. Созданы, проектируются и внедряются в производство десятки видов конвейерных цехов, оснащенных манипуляторами и линиями непрерывного действия. Они хорошо зарекомендовали себя

в автотракторном моторостроении, при литье трубоарматуры и деталей насосов, корпусов электродвигателей, деталей коммунального машиностроения и др. Однако чаще создаются небольшие производственные цеха, состоящие из модельного, формовочного, плавильного и очистного участков, оснащенных несложным оборудованием, одинаковым для черных и цветных сплавов.

Большинство крупнейших автопроизводителей Европы, Азии и Америки ежегодно используют в производимых автомобилях несколько сотен тысяч тонн точных отливок, полученных описанным способом. GeneralMotors, FordMotors, BMW, Fiat, VW, Renault и ряд других фирм полностью перешли в 1980-90 годах на изготовление этим способом отливок блоков цилиндров, головок блока, впускных и выпускных коллекторов, коленвалов для наиболее массовых типов двигателей.

Огромный интерес, проявленный в различных странах к новому методу литья, стал причиной создания в конце 1967 г. Международной ассоциации литья погазифицируемым моделям, которая объединила 150 предприятий различных форм с суточным выпуском около 800 т отливок. В задачу Ассоциации входит накопление и обобщение опыта, а также оказание помощи в освоении нового метода литья заинтересованными фирмами.

Основными преимуществами отливок, изготовленных по этой технологии являются следующие:

- Высокая точность получаемых отливок даже при сложной конфигурации.
- Качество и плотность металла в отливке обеспечивается за счет частичного вакуумирования в процессе литья.
- Высокое качество поверхности отливок (Rz 80) позволяет в некоторых случаях совсем отказаться от механической обработки, которая была бы необходима при другом способе изготовления.
- Минимальный припуск на механическую обработку, если она всё же необходима.

- Полная идентичность отливок в серии.

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определённой скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведёт к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

Другим существенным недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками.

Также к недостаткам литья по газифицируемым моделям можно отнести безвозвратные потери материала разовой модели и выделение токсичных продуктов ее термодеструкции, что требует проведения соответствующих защитных мероприятий. В варианте процесса с вакуумированием формы во время ее заливки продукты термодеструкции модели могут поступать непосредственно из формы в установку для каталитического их дожигания до диоксида углерода и паров воды.

В настоящее время в развитых странах этим методом производится до 30% литья. Метод ЛГМ позволяет производить качественное литье сложных корпусных деталей без использования токсичных смол и материалов и является универсальным как для черных металлов, так и для цветных сплавов.

Производственный потенциал технологии литья ЛГМ далеко не исчерпан. Она также позволяет получать ранее нетехнологичные литые крупнопористые, ячеистые и каркасные отливки, лить не только металлы и сплавы, но и получать композиты и армированные конструкции, которые обладают улучшенными характеристиками. При этом в модель предварительно вставляют различные детали или материалы, которые формируют композит или армированную конструкцию, а наложение газового давления на жидкий металл увеличивает стабильность пропитки таких изделий со вставками на длину до 1 м.

Литье ЛГМ относят к высокотехнологичным производствам, которые дают выход к устойчивому развитию из технологического отставания, когда в отечественной экономике нарастает сырьевая составляющая, доминирует продукция с низкой добавленной стоимостью и снижается конкурентоспособность производства. Если в 80-е годы в структуре отечественной промышленности и товарного экспорта вес машиностроения составлял порядка 30...40%, а черной металлургии был в два-три раза меньше, то сегодня наоборот. Именно развитие литейного производства – это шаг к восстановлению и росту отечественного машиностроения, превращения страны из продавца полуфабрикатов в экспортера технологической продукции с большой добавленной стоимостью. Снижение зависимости национальной промышленности от импорта идей, технологий и товаров, реализация собственной программы инновационного развития позволит нам стать равноправным участником глобальных инновационных процессов.

2. Сущность и технологические схемы процесса

Сущность способа состоит в том, что жидкий металл заливается через литниковую систему непосредственно на заформованную в наполнитель пенополистироловую модель, которая под действием его теплоты газифицируется, освобождая полость формы. Главной особенностью этого процесса является использование не извлекаемой перед заливкой разовой пенополистироловой модели, отсутствие стержней и плоскости разъема формы. Все это расширяет технологические возможности процесса литья в песчаные формы, способствует повышению точности и качества отливок, позволяет конструктору придавать отливке конфигурацию, которая наиболее полно отвечает условиям работы отливок в изделии.

Технологический процесс изготовления отливок включает следующие операции:

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						177
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Подготовка полистирола (предварительное вспенивание) - обеспечивает получение модели заданной плотности.
2. Изготовление модели — в зависимости от величины, геометрии и серийности это может быть автоклавный способ, метод теплового удара или вырезка модели из блочного пенополистирола с помощью режущего инструмента (хорошая практика — использование для этих целей фрезерных станков с ЧПУ немецкой компании GEISS AG).
3. Сборка моделей (если модель состоит из нескольких частей) и модельных блоков — моделей, собранных с литниковой системой.
4. Приготовление, нанесение и сушка противопригарного покрытия, которое при ЛГМ-процессе наносится на поверхность модели.
5. Формовка модельных блоков путём засыпки их кварцевым песком с последующим виброуплотнением.
6. Подключение контейнеров к вакуумирующей системе и заливка жидкого металла (при этом продукты деструкции удаляются из формы, проходят через установку обезвреживания (степень очистки — 98%) и в атмосферу удаляются пары воды и CO_2).
7. Выбивка контейнеров (после отключения от вакуумирующей системы, песок высыпается из контейнера и подаётся на установку регенерации, где очищается от продуктов деструкции пенополистирола, а отливки подаются на финишные операции). [2]

К технологичности конструкции отливок, изготавливаемых по газифицируемым моделям, предъявляют дополнительно следующие специальные требования:

1. Конфигурация отливки должна предусматривать такую конструкцию литниково-питающей системы, которая обеспечивает сифонный подвод металла, исключает образование застойных зон, способствует созданию сплошного фронта течения расплава для последовательного и направленного заполнения формы и вывода из нее продуктов разложения модели;

2. При выборе толщины стенок отливок необходимо учитывать механические свойства материала модели и его плотность;

3. Расположение и конструктивное оформление выступающих частей, усиливающих ребер и других элементов отливки должны предусматривать возможность уплотнения смеси вокруг соответствующих элементов модели при формовке;

4. При наличии в детали изолированных каналов и полостей в ее конструкции необходимо выполнять технологические отверстия, обеспечивающие заполнение модели формовочной смесью и удаление смеси после охлаждения отливки.

При литье по газифицированным модель заформовывается в песчаной неразъемной форме. При заливке формы модель газифицируется и замещается сплавом.

Использование вместо сухого песка сыпучего ферромагнитного материала, например, дроби или металлического песка, позволяет применить магнитное поле для удержания формы в процессе заливки металла. Однако взаимодействие расплавленного металла с продуктами деструкции материала модели нередко приводит к появлению специфических дефектов отливок: поверхностных раковин (вследствие отложения твердого углерода); газовых раковин; волнистости поверхности отливок и др. Качество поверхности отливок существенным образом зависит от свойств материала модели, в частности его удельного веса. При уменьшении удельного веса материала снижается количество продуктов деструкции, но уменьшается жесткость и прочность модели, что увеличивает вероятность деформации при использовании уплотняемых песчано-глинистых смесей. Возможность получения отливок в формах из сухого песка без связующего различные исследователи объясняют по-разному. С одной стороны, считается, что форма из сухого песка приобретает прочность за счет связующего действия сконденсированных в порах формы продуктов испарения пенополистирола, образующихся в процессе его газификации. С другой стороны, отрицается связующее действие продуктов

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						199
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

конденсации и утверждается, что устойчивость форм из сухого песка и возможность формирования в них отливок объясняется безззорным замещением модели расплавом. Однако рядом исследователей установлено, что зазор между моделью и расплавом образуется, и величина его зависит от температуры расплава скорости заливки, гидростатического напора и других факторов. Считается, что основным фактором, удерживающим песок в устойчивом положении, является действие фильтрационных сил газового потока, образующегося в результате взаимодействия материала модели и расплава

Модели изготавливаются из пенополистироловых блоков механической обработкой, а для отливок сложных конфигураций из вспененного полистирола - в специальных пресс-формах. Процесс изготовления формы сводится к засыпке модели в опоке сухим песком при равномерном уплотнении его вибрацией.

При ЛГМ упрощаются требования к технологичности конструкции отливок. Неразъемность модели и отсутствие операции ее извлечения из формы обеспечивают допустимость на модели поднутрений и теневых участков, также отпадает необходимость в уклонах на стенках отливки. Отсутствие разъема формы и модели обеспечивает повышенную точность отливки и исключает образование облоев и дефектов, связанных со смещением полуформ.

Технология ЛГМ позволяет объединять несколько отливок в одну (ГОСТ 2138-91) . [9]

Уменьшая при этом долю механической обработки и сокращая количество сборочных операций, за счет чего можно добиться ощутимого снижения металлоемкости конструкции и сокращения затрат на обработку отливки. Кроме того, вспененный в пресс - форме полистирол образует гладкую поверхность будущей отливки, которая повторяется металлом в процессе заливки. Это также снижает затраты на последующую механическую обработку, а иногда вообще отменяет её. В процессе формовки пеномоделей, с пресс-формой взаимодействует только пар и полистирол, в отличие, к примеру, от кокильного литья, где кокиль соприкасается с расплавом напрямую.

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Применение пенополистироловых моделей облегчает организацию питания отливок. Прибыли можно устанавливать в любом участке отливки и любой желательной конфигурации. Расход металла на прибыли снижается на 20-30 %.

В материал пенополистироловой модели можно вводить порошки легирующих или модифицирующих материалов для обеспечения легирования и модифицирования сплава в литейной форме.

Существует несколько вариантов литья по газифицируемым моделям. Выбор варианта зависит от массы и размеров отливки, требований к ней, а также характера производства.

При индивидуальном и мелкосерийном производстве крупных отливок применяют цельные, не извлекаемые из формы пенополистироловые модели, разъемные газифицируемые модели, извлекаемые из формы модели из пенополистирола, частично извлекаемые и комбинированные, состоящие из деревянной извлекаемой модели с отъемными частями из пенополистирола. Формовка может осуществляться в одной, двух или более опоках, или в кессоне. Для формовки применяют песчано-глинистые, самотвердеющие и жидкие самотвердеющие смеси.

Для крупных форм используют облицовочные и наполнительные смеси. При применении специальных опок для вакуумирования форм вместо песчано-глинистых смесей целесообразно использовать сухой песок, уплотняемый вибрацией. При вакуумировании обеспечивается достаточно высокая прочность формы, как при вакуум пленочной формовке.

При серийном производстве применяют формы из кварцевого песка марок 061-063 и (1-3)К, - КЗ с зернистостью 016 и 02. Для обеспечения повышенной прочности после вибрационного уплотнения используют смешанные пески фракций 03 и 016 в соотношении 1:1. Для повышения скорости охлаждения сплава добавляют металлическую дробь марок ДСК-03 и ДЧК-03. При формовке применяют модельные блоки, включающие в себя соединенные друг с другом модели отливок и литниковой системы.

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

2.1. Технология литья по газифицируемым моделям

Данную технологию можно отнести к группе способов получения отливок в неразъемных формах по разовой модели как литье по выплавляемым моделям. Но в отличие от ранее рассмотренных сходных способов модель удаляется (газифицируется) не до заливки, а в процессе заливки формы металлом, который, замещая испаряющуюся модель, занимает освободившееся пространство в полости формы. Современные варианты технологического процесса заключаются в следующем.

Разовые пенополистирольные модели изготавливают либо засыпкой в специальные металлические пресс-формы (массовое и крупносерийное производство) суспензионного полистирола в виде подвспененных гранул, либо механической обработкой нормализованных пенополистирольных плит (мелкосерийное, единичное производство). Сложные модели делают по частям. Отдельные части и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой. Собранный модель окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получается огнеупорная газопроницаемая оболочка, прочно связанная с пенополистирольной моделью (рисунок 2, а).

Готовую модель устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным наполнителем без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями, нагружают и устанавливают литниковую чашу (рисунок 2).

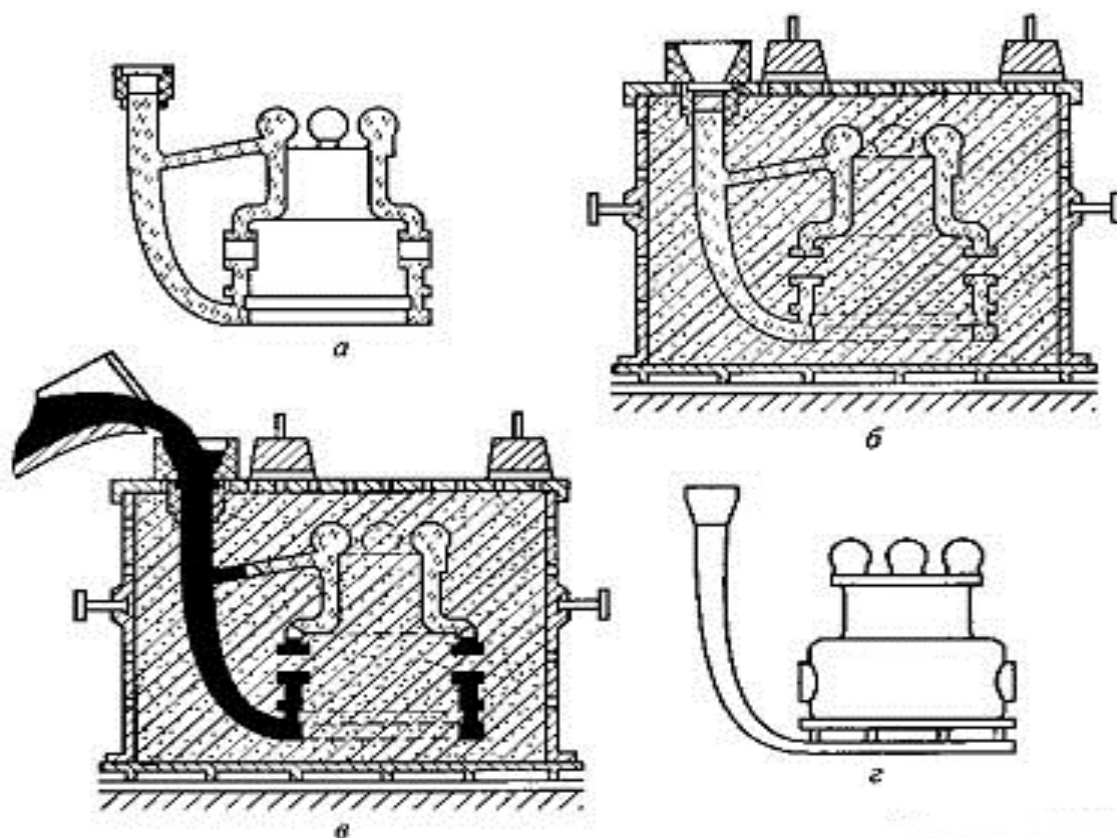


Рисунок 2 - Схема изготовления отливки по газифицируемой модели:
а – пенополистирольная модель отливки; б – форма, подготовленная к заливке; в – заливка формы, газификация модели; г – отливка с элементами литниковой системы.

При изготовлении сложных отливок контейнер после подачи опорного материала закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Чтобы уменьшить вероятность разрушения формы в ней создают разрежение до 0,04 – 0,05 МПа. При изготовлении крупных массивных отливок используют обычные холодно твердеющие жидкоподвижные или сыпучие формовочные смеси.

Приготовленную форму заливают жидким металлом (рисунок 2, в). Температура газификации пенополистирола близка к 560°C, поэтому под действием теплоты заливаемого расплава модель газифицируется. При этом полость формы постепенно освобождается и заполняется металлом.

После затвердевания и охлаждения отливки опоку-контейнер переворачивают, наполнитель отделяется от отливки и высыпается, после чего отливка направляется на финишные операции (рисунок 2, г). В случае ис-

пользования обычных формовочных смесей форму выбивают на выбивных решетках.

Образующиеся при заливке металла газы из контейнера отсасывают насосом – разрежение поддерживают примерно на уровне 0,5 атм., одновременно это разрежение уплотняет и удерживает в неподвижном состоянии песок в процессе замещения модели металлом. Затем газы через трубу вакуумной системы подают для утилизации и обезвреживания в систему термokatалитического дожигания. Там они окисляются примерно на 98%, и в виде водяного пара и двуокиси углерода выбрасываются в атмосферу за пределами помещения цеха. Традиционные формы со связующим после заливки металлом дымят в помещении, как ни вентилируй рабочую зону цеха, а удаление газов из сухого песка насосом в 10-12 раз снижает показатели загрязнений воздуха рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные формы согласно проведенным измерениям концентраций примесей в воздухе цеха.

Формовочный кварцевый песок после извлечения остывшей отливки из формы благодаря его высокой текучести обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключаящей распыление его в цехе. Примерно треть его поступает в установку терморегенерации, где он освобождается от остатков конденсированных продуктов деструкции пенополистирола, а затем, смешиваясь с остальной частью, после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается опять на формовку. В результате потери оборотного песка не превышают нескольких процентов - это просыпи, унос с отсасываемыми газами и т.п.

Значительную часть бункеров, трубопроводов и оборудования комплекса по охлаждению и складированию оборотного песка обычно монтируют за пределами помещения цеха у внешней его стены, при этом сухой песок, который не боится мороза, быстрее охлаждается на открытом воздухе. Изолирование в закрытых трубопроводах потока песка, отсасывание из формы и последующее дожигание газов в сочетании с чистым модельным про-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

изводством дает возможность создать экологически чистые цеха высокой культуры производства.

Главная особенность способа (применение неразъемной формы) определяет основное его преимущество для качества готовых отливок - повышение точности отливок благодаря сокращению числа частей формы, стержней, а, следовательно, и возможных искажений конфигурации и размеров отливок, связанных с изготовлением и сборкой этих элементов формы. [3]

2.2. Изготовление отливок по газифицируем моделям

Полистирол может иметь низкое качество и повышенную плотность. При этом обнаруживаются специфические поверхностные дефекты, ухудшающие товарный вид отливок. В этом случае целесообразно модель предварительно удалить из формы путем выжигания перед заливкой металла. Три основных способа выжигания модели из формы:

- а) нагревом в сушильной печи;
- б) ацетиленокислородным пламенем;
- в) струей кислорода.

На основании экспериментов было установлено, что при нагревании формы в сушильной печи время удаления модели пропорционально температуре; например, при 300°C время полного удаления модели из формы составляет 4 ч, а при 500 °C – только 1 ч. Противопригарное покрытие, содержащее в качестве связующей основы гидролизированный раствор этилсиликата или жидкое стекло, отслаивалось от формы и растрескивалось. Поэтому указанный способ удаления модели можно рекомендовать только для получения отливок среднего развеса, формы которых можно выполнять повышенной плотности без противопригарного покрытия. Выжигание ацетиленокислородным пламенем не дало положительных результатов. Наилучшие результаты были получены при выжигании моделей направленной струей кислорода. Стояк (выпор) из пенополистирола поджигают, и в очаг горения при помощи

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

резака или трубки направляют струю кислорода. Модель быстро выгорает. Продолжительность удаления модели зависит от ее объема и составляет обычно 1...5 мин. Так как выжигание сопровождается обильным выделением дыма, этот процесс необходимо проводить под вытяжным зонтом. Формы следует изготавливать из жидкостекольных самотвердеющих смесей. Огнеупорное покрытие из цирконовой краски, приготовленной на гидролизованном растворе этилсиликата, имело хорошую стойкость; противопопригарное покрытие на жидком стекле отслаивалось, что связано с большой усадкой жидкого стекла.

2.3. Условия формирования отливки

Формирование отливки происходит в результате взаимодействия формы, металла и модели. Это подтверждается практикой применения данного метода, например, образование на поверхности отливки такого дефекта, как ужимины. При получении отливок могут образоваться дефекты вследствие взаимодействия расплава с продуктами газификации модели - блестящие пленки углерода и глубокие раковины, заполненные сажей, на чугунных отливках, рыхлоты и спаи на поверхности отливок из алюминиевых сплавов, цементация поверхностного слоя в стальных отливках и т.д. В результате образующейся газовой фазы, а, следовательно, и газового давления в самой полости формы замедляется скорость заливки ее металлом.

Модели из полистирола значительно упрощают технологический процесс получения отливок в разовых песчаных формах, начиная с его проектирования и кончая выбивкой отливок. При проектировании на чертеж детали наносят только припуск на механическую обработку, конструкцию литниково-питающей системы и приводят размеры ее элементов. При литье по газифицируемым моделям значительно облегчается работа модельщиков, упрощается и сокращается по времени процесс изготовления моделей. В большинстве случаев отпадает необходимость в изготовлении стержневых

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

ящиков, в значительной степени упрощаются формовочные операции. Отпадают такие ответственные операции формовки, как отделка разъема формы, удаление модели, отделка полости формы, установка стержней, жеребеек, кантовка форм, сборка форм и их контроль. Финишные операции также значительно сокращаются. Отсутствие стержней и линии разъема формы ликвидирует такую трудоемкую операцию, как обрубку заливов металла (облоя), различных технологических приливов. Операция обработки сводится к удалению литниковой системы, зачистке остатков литников с последующей дробеметной или дробеструйной обработкой отливки в камерах и барабанах. Однако, несмотря на кажущуюся простоту технологического процесса, производство отливок по моделям из пенополистирола имеет свои особенности и трудности, как в изготовлении моделей, так и в изготовлении форм. Технологический процесс формовки по моделям из пенополистирола состоит из следующих подготовительных и производственных операций: выбора формовочной смеси и метода формовки; определения необходимости применения противопопригарного покрытия модели и его толщины; определения положения модели в форме в процессе ее заливки; выбора места подвода питателей, конструирования и расчета литниковой системы; выбора положения, конструирования и расчета прибылей, а также выпоров; расчета груза для формы, особенно в случае изготовления ее из сухого песка, без связующей добавки; определения температуры заливки формы металлом.

2.4. Особенности проектирования литниковой системы

При разработке литниковой системы необходимо особое внимание обращать на устранение разрежения в ее элементах при заливке металла. Наибольшая опасность разрежения создается в верхней части стояка, что всегда приводит к обвалу песка в нем из-за инъекции воздуха. Поэтому конструкция стояка должна выполняться с учетом всех требований, устраняющих разрежение. Турбулентность металла в стояке является причиной

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

разрушения песчаной стенки. Уменьшение турбулентности возможно только за счет снижения скорости металла в стояке и уменьшения диаметра стояка, что определяется временем заливки формы. Для отливок средних размеров на стояк необходимо наносить прочное керамическое покрытие; литниковую систему для крупных отливок нужно делать из керамических трубок. Питатель менее подвержен разрушению, так как течение металла в питателе обычно ламинарное. Разрежение в питателе бывает только в местах резкого поворота. Следовательно, даже для крупных отливок питатель можно делать из пенополистирола. Однако места соединения питателя с отливкой должны выполняться плавными либо окрашиваться (покрываться керамической оболочкой).

Процесс литья по газифицируемым моделям позволяет решить проблему широкого применения прибылей сферической формы. Модель прибыли, оставаясь в форме после удаления из нее постоянной модели, под действием расплава газифицируется. Эти преимущества объясняются тем, что прибыли сферической формы имеют наилучший модуль затвердевания по сравнению с модулями затвердевания прибылей другой конфигурации при условии равенства объемов.

Прибыль сферической формы имеет в среднем относительную продолжительность затвердевания, на 30...60 % большую, чем прибыли другой конфигурации при условии равенства их объемов. Заливку форм нужно производить особенно тщательно. Нельзя допускать разрыва струи металла во время заливки, а саму заливку следует осуществлять равномерно, при постоянном гидростатическом напоре. При производстве мелких отливок форму заливают из-под пробки. Крупные формы должны заливать рабочие-заливщики высокой квалификации.

2.5. Изготовление отливок в песчаных формах без связующего

При получении отливок в песчаных формах без связующего значительно упрощаются операции изготовления и выбивки формы, а их продолжительность резко уменьшается. Система металл-модель-форма разбивается на ряд температурных зон:

- 1) зону испарения полистирола, где он превращается в газ;
- 2) зону соприкосновения металла со стенками формы или огнеупорным покрытием;
- 3) зону течения газа с образованием газового давления;
- 4) зону конденсации, здесь песок конденсирует пары модели.

На основании предложенной схемы считается, что песок в статическом состоянии поддерживается газовым давлением, образующимся в результате газификации модели, продуктами конденсации, которые связывают песок в более холодных его слоях, противопопригарным покрытием и, наконец, самим металлом вследствие его кристаллизации.

2.6. Выбор формовочной смеси и метода формовки

При выборе формовочной смеси и метода формовки необходимо учитывать низкую прочность материала и легкую деформируемость модели под действием внешних нагрузок, которые не должны превышать 1 кг/см². Поэтому такие методы формовки, как встряхивание, прессование, формовка пескометом и др., неприемлемы для производства отливок по моделям из пенополистирола. Даже формовку ручными простыми и пневматическими трамбовками нужно выполнять очень осторожно, чтобы не повредить модель. Лучше всего применять сыпучие или жидкоподвижные самотвердеющие смеси, не требующие дополнительного уплотнения или для уплотнения которых достаточна вибрация. Формовочная смесь должна обеспечивать высокую газопроницаемость формы в пределах 200...500, обладать хорошей

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

податливостью и выбиваемостью, а также высокой прочностью при слабом уплотнении, как в холодном, так и в нагретом состоянии, сохранять свойства при многократном использовании.

Затраты на регенерацию должны быть минимальные. Песчано-глинистая формовочная смесь не обладает всеми указанными свойствами, поэтому ее редко применяют для данного метода литья. Наибольшее применение находят различные самотвердеющие смеси. Противопригарные покрытия. Одна из особенностей литья по газифицируемым моделям – это нанесение противопригарных покрытий на модель, так как форма не имеет разъема, а модель остается в форме в процессе заливки. Противопригарное покрытие выполняет две функции: защищает отливку от пригара (при заливке чугуна и стали) и предохраняет от образования грубой поверхности в результате неравномерного уплотнения смеси. Формы из наливных самотвердеющих смесей имеют равномерную плотность, однако из-за высокой пористости смеси необходимо применять противопригарное покрытие. [4]

2.7. Влияние продуктов разложения модели на качество поверхности отливок

Влияние продуктов разложения пенополистирола на формирование поверхности отливки зависит от температуры заливки и вида металла, гидравлических свойств формы и газового режима и т. д.

При правильной технологии заливки в высокогазопроницаемые формы на отливках из алюминиевых сплавов следов взаимодействия продуктов деструкции с поверхностным слоем отливки не наблюдается. В зоне контакта модели и алюминиевого сплава температура не превышает 500 °С, поэтому разложение модели происходит до жидких составляющих, летучих при температуре контакта и при небольшом количестве продуктов горения СО и СО₂. Твердой фазы при разложении полистирола не образуется.

Если скорость заливки превышает скорость продвижения фронта превращения, то жидкая фаза не успеет разложиться до летучих и собирается на поверхности отливки, либо прижимается к вертикальной стенке, образуя местные дефекты. В результате переохлаждения металла в месте контакта с жидкой фазой образуются спаи, глубокие подкорковые раковины, обычно вытянутого типа. При получении алюминиевых отливок необходимо учитывать, что разложение полистирола до летучих идет с поглощением тепла, а реакции горения, которые компенсировали бы потери тепла, отсутствуют. Наилучшие условия для формирования качественной отливки создаются в случае, если модель разрушает только до летучих (парообразных) продуктов, как в случае взаимодействия пенополистирола с алюминиевыми сплавами.

3. Изготовление газифицируемых моделей

3.1. Материалы для изготовления газифицируемых моделей

Материалом для изготовления газифицируемых моделей служит вспенивающийся полистирол, который представляет собой синтетический полимерный продукт суспензионной полимеризации стирола в присутствии эмульгатора, стабилизатора и порообразователя. В качестве порообразователя чаще всего используют изопентан. Применяемые для изготовления моделей гранулы вспенивающегося полистирола представляют собой полупрозрачные или белые непрозрачные шарики диаметром до 3,2 мм с внешней твердой полистирольной оболочкой, внутри которой находится жидкая фаза - изопентан. Чем тоньше стенки модели, тем мельче должны быть гранулы вспенивающегося полистирола. При нагреве до 27,9°С изопентан закипает и превращается в газ с увеличением объема, а при 80 – 90°С полистирольная оболочка размягчается и под действием давления газа деформируется. При этом объем гранул увеличивается в 10 – 40 раз. Этот процесс называется «вспениванием гранул полистирола». При вспенивании гранул в замкнутом

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

объеме они спекаются в монолитную массу, точно воспроизводящую конфигурацию ограничивающей ее рост конструкции.

Для изготовления отливок по газифицируемым моделям пенополистирол должен обладать следующими свойствами:

- при плотности $20 - 30 \text{ кг/м}^3$ иметь достаточную технологическую прочность ($0,1 - 0,2 \text{ МПа}$), чтобы сохранять размеры и конфигурацию моделей в процессе их изготовления, хранения, транспортирования и формовки;
- на всех стадиях технологического процесса иметь минимальную и стабильную усадку ($0,15 - 0,2\%$);
- обладать достаточной скоростью газификации, чтобы заливаемый металл успевал заполнять полость формы до начала его затвердевания;
- при газификации разлагаться с минимальным содержанием коксообразующих продуктов во избежание появления засоров в отливках.

3.2. Предварительная тепловая обработка

Необходима для получения впоследствии газифицируемой модели с заданной объемной массой (плотностью), которая определяет прочность модели и качество поверхности. Вспенивающая способность гранул заданной дисперсности определяется температурой и временем тепловой обработки (рисунок 3).

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

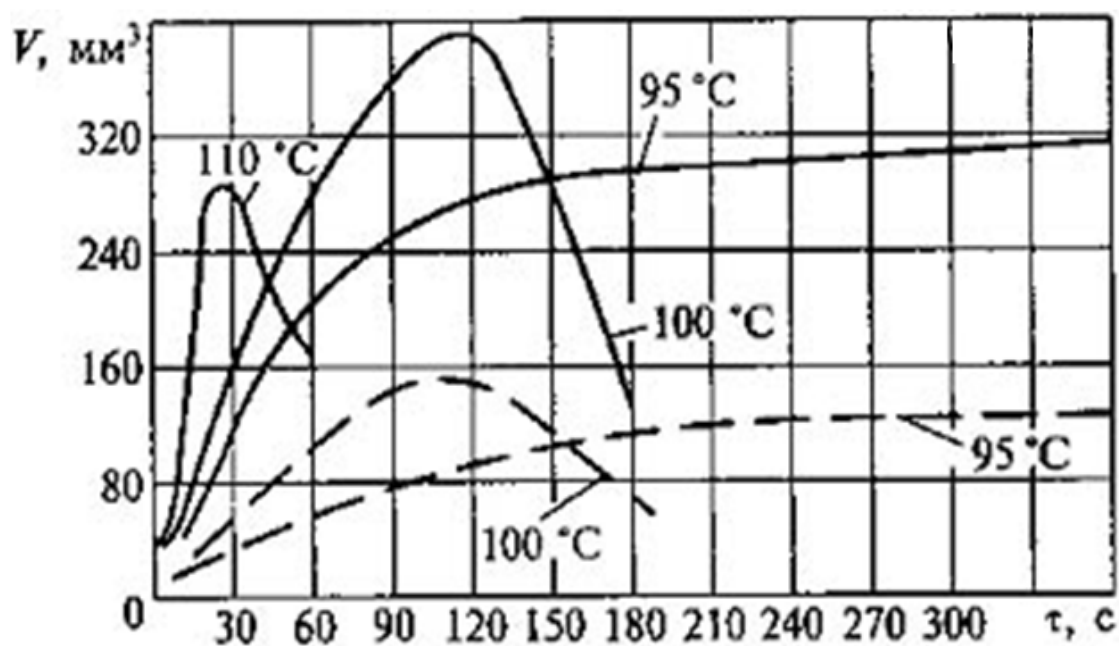


Рисунок 3 - Увеличение объема гранул пенополистирола (V) в зависимости от температуры (цифры у кривых) и продолжительности подвспенивания (t):
сплошные линии – начальный размер гранул 2,5 мм; пунктирные – 1,5 мм.

С увеличением продолжительности тепловой обработки объем гранул увеличивается и, соответственно, уменьшается насыпная масса подвспененных гранул.

Повышение температуры обработки приводит к сокращению времени, при котором гранулы достигают максимального объема. Но при температурах выше 95 °C процесс становится нестабильным, и передержка гранул приводит к потере их активности и усадке. Это связано с увеличением скорости деформации полистирольной оболочки гранул при повышении температуры, в результате чего стенки отдельных ячеек гранул разрушаются, и происходит потеря порообразователя.

На предприятиях с небольшим объемом производства предварительное вспенивание целесообразно проводить в горячей воде. Для этого исходные гранулы полистирола помешают в воду при температуре 95 – 100 °C и выдерживают в течение 1 – 10 мин при постоянном помешивании, чтобы обеспечить равномерность тепловой обработки и исключить слипание гранул. После выдержки, необходимой для подвспенивания гранул до заданной

насыпной массы, их извлекают и засыпают на стеллажи с сетчатым дном для просушивания и выдержки на воздухе.

Для нагрева гранул при предварительном вспенивании применяют также обработку паром и токами высокой частоты. В условиях крупносерийного и массового производства чаще всего используют перегретый пар.

После предварительного вспенивания гранулы выдерживают на воздухе от 6 ч до 2 суток. В этот период оболочка гранул, охлаждаясь, вновь переходит в стеклообразное твердое состояние, а пары изопентана конденсируются, что приводит к возникновению вакуума в гранулах. В процессе выдержки происходит диффузия воздуха внутрь гранул и давление выравнивается. Для сокращения времени выдерживания подвспененных гранул можно использовать выдержку их при повышенном до 0,2 – 0,3 МПа давлении. [3]

3.3. Изготовление моделей в пресс-формах

Общими требованиями к материалам для изготовления пресс-форм являются высокие теплопроводность, стойкость против коррозии при контакте с теплоносителем (горячей водой, паром), достаточная механическая прочность и минимальная адгезия к пенополистиролу.

Чаще всего в качестве материала основных элементов пресс-формы используют алюминиевые сплавы, реже медные и сталь. Стальные пресс-формы для предупреждения коррозии хромируют. Иногда используют пластмассы с наполнителями, повышающими их теплопроводность. Температура размягчения пластмасс не должна быть ниже 150 °С.

Для быстрого нагрева гранул, снижения затрат на теплоноситель и равномерного протекания процесса формирования моделей на всех стадиях (нагрев, охлаждение) корпуса пресс-форм делают равно стенными с толщиной стенки 8...10 мм. Тем не менее, пресс-форма должна быть достаточно прочной и жесткой, так как в ее рабочей полости возникает давление от вспенивающегося полистирола до 0,6 МПа.

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Стенки пресс-формы должны иметь перфорацию для отвода из нее воздуха, пара или воды. Отверстия или щели выполняются с шагом 30...100 мм в зависимости от габаритов пресс-формы и конфигурации модели. Соотношение между суммарной площадью выходных и входных вент должно составлять 0,7...0,9 и его подбирают для каждого конкретного случая. Отверстия, служащие для заполнения пресс-форм предварительно вспененными гранулами, должны иметь специальные затворы.

Конструктивное оформление пресс-форм должно обеспечивать возможность извлекать из нее модели, иметь системы центрирования и крепления отдельных частей, загрузки гранул, подачи теплоносителя, толкателей, охлаждения и крепления к машине, при механизированном изготовлении и т. д. В целом пресс-формы тем сложнее и дороже, чем сложнее и крупнее изготавливаемая в ней модель, и полнее степень механизации и автоматизации процесса изготовления модели.

Процесс заключается в повторном нагреве подвспененных и активированных гранул полистирола, помещенных в пресс-форму, в результате которого они окончательно вспениваются и спекаются между собой, образуя пенополистирольную модель отливки.

Подготовленные гранулы засыпают или задувают сжатым воздухом в смазанную специальной смазкой рабочую полость пресс-формы так, чтобы они полностью заполнили ее объем. Смазками служат: раствор синтетического термостойкого каучука, силиконовая жидкость, глицерин.

Нагрев гранул в крупносерийном и массовом производстве целесообразно проводить способом так называемого «теплового удара»: перегретый пар с температурой 125 – 135°С под давлением 0,2 – 0,35 МПа подают непосредственно в пресс-форму, заполненную гранулами полистирола. Проходя между гранулами, турбулентный поток пара интенсивно вытесняет воздух, находящийся в порах засыпки, и равномерно по всему объему нагревает полимерный материал, который окончательно вспенивается. Образующийся

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

конденсат под действием расширяющихся гранул отжимается к стенкам пресс-формы и удаляется через специальные дренажные отверстия.

При небольших объемах производства чаще используют более простые, но менее производительные способы:

- ванный, когда пресс-форма с подвешенными гранулами помещается в ванну с водой, нагретой до кипения. По окончании процесса пресс-форму охлаждают в проточной воде;

- автоклавный, когда перфорированная пресс-форма, заполненная гранулами, помещается в автоклав, куда подается «острый» пар под давлением 0,13 – 0,145 МПа при температуре 105 – 115°C. Перфорация пресс-формы в виде отверстий в стенках диаметром 0,35 – 1,5 мм, а лучше щелей шириной 0,25 – 0,5 мм служит для подачи пара внутрь пресс-формы, а также для удаления воздуха и конденсата во время расширения и спекания гранул.

Автоклавный метод позволяет получать модели с плотностью ~25 кг/м³ и чистой поверхностью, чего трудно достичь при ванном способе. Существенным недостатком автоклавного способа является длительность процесса, которая составляет 10...40 мин при толщине стенок модели от 5 до 100 мм.

3.4. Изготовление моделей из пенополистирольных плит

В качестве материала используют готовые пенополистирольные плиты марки ПС-Б и ПС-БС с габаритами до 1000 x 700 x 100 мм. Плотность плит 20 – 25 кг/м³, напряжения на изгиб 0,09 – 0,23 МПа при 5%-ной деформации; остаток после испарения образца не более 2 мас. %; скорость плавления около 25 мм/с.

Пенополистирол легко обрабатывается на обычных деревообрабатывающих станках. Чистовую обработку ведут при больших скоростях резания

и малых подачах, используя инструмент с мелкой насечкой, тонкие наждачные круги и шлифовальную шкурку.

Одним из способов обработки пенополистирола является обработка горячей электронагреваемой нихромовой проволокой. Температура нагрева режущей проволоки должна находиться в пределах 300 – 450 °С. Преимущество данного способа заключается в том, что гранулы пенополистирола не выкрашиваются, а оплавляются по поверхности разреза и закрывают поры.

Обычно сложные модели изготавливают из отдельных частей простой геометрической формы с последующим их склеиванием, термической сваркой или сваркой растворением пенополистирола.

Термическая сварка осуществляется с помощью струи воздуха, нагретого до 105 - 130 °С. В качестве присадочного материала используют прутки из пенополистирола. Наплывы в местах сварки устраняют заглаживанием нагретым инструментом.

Для сварки растворением пенополистирол растворяют в стироле, толуоле, дихлорэтано до достижения консистенции киселя. Полученный состав наносят тонким слоем на соединяемые поверхности, при этом материал модели несколько растворяется. После соединения поверхностей и выдержки в течение 8 – 10 мин под небольшим давлением образуется прочный однородный с материалом модели соединительный шов.

Пенополистирольные модели значительно дешевле деревянных, что особенно важно в единичном производстве. Время, затрачиваемое на их изготовление, в 2 - 3 раза меньше, при этом не расходуется древесина высокого качества.

Преимущество данного способа заключается в том, что гранулы пенополистирола не выкрашиваются, а оплавляются по разрезаемой поверхности и закрывают поры.

Обычно сложные модели изготавливают из отдельных частей простой геометрической формы с последующим их склеиванием. Мелкие галтели выполняют клеейкой лентой, при больших радиусах их изготавливают из

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

отдельных конструктивных элементов. Некоторые стандартизированные элементы модели (бобышки, запоры, прибыли и т. д.) применяемые на разных моделях, можно изготавливать вспениванием в пресс-форме и затем их приклеивать.

Для соединения составных частей модели, элементов литниковой системы, блоков моделей широко применяют полимерные клеи, нерастворимые в воде, которые обеспечивают быстрое склеивание, не содержат растворителей пенополистирола и не влияют на характер его газификации, например, поливинилацетатный лак, карбамидная смола МФ-17, клей БФ-2 и др. Можно применять водные клеи на основе казеина или декстрина, но они сохнут медленно.

Собранные модели и модельные блоки покрывают противопопригарной краской или суспензией толщиной 0,2...2,0 мм. После сушки покрытие предохраняет отливку от пригара и повышает прочность модели. Важным показателем покрытия является ее газопроницаемость, чтобы обеспечить выход газов, образующихся при газификации из зазора между моделью и расплавом. Состав красок зависит от типа сплава и массы отливки, материала формы. В состав могут входить циркон, графит (для чугуна), пылевидный кварц, дистен-силлиманит (алюминиевые сплавы), каменноугольная или древесная пыль (медные сплавы) и т. д. В качестве связующего используют гидролизированный раствор этилсиликата, цемент, гипс, искусственные смолы. Для повышения газопроницаемости добавляют суспензию пористых материалов – асбест, пемзу и др. Противопопригарную краску на модель наносят окутанием, кистью или распылением.

4. Противопригарные покрытия

При литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) для снижения степени науглероживания (пригара) отливки используются противопригарные покрытия (краски). Данные покрытия обладают следующими характеристиками: жаропрочностью (до 2000 °С), высокой газопроницаемостью (до 50 единиц по GF при толщине покрытия до 1 мм), способностью впитывать жидкую фазу, а также антибактериальными свойствами.

Противопригарные покрытия бывают водными (приготовленными из порошка или пасты добавлением воды) и быстросохнущими (само высыхающими) на основе растворителей. Но последние небезопасны для литейного производства ввиду возможности возгорания.

В состав противопригарных красок входят смоляные или жидко стекольные связующие вещества, стабилизирующие добавки, а также различные огнеупорные наполнители (шамот, кварц, графит, тальк, цирконовый концентрат и другие). Стоит отметить, что многие из них считаются вредными для человека и экологии в целом. Одним из инновационных решений является применение аморфа (отхода карбида кремния) в качестве огнеупорного наполнителя, что позволяет литейщикам улучшить экологическую обстановку на заводе. [8]

Противопригарные краски широко используются при всех видах литья: чугуном, стальном, цветном. Например, только при стальном литье используют более 300 видов противопригарных покрытий. Они наносятся на поверхности модели или стержня и препятствуют образованию пригара на отливке, который является производственным дефектом.

Поставляются противопригарные покрытия в пастообразной или порошкообразной форме, затем их разбавляют в лопастной мешалке до гомогенного состояния водой (примерно 15% от объема). При приготовлении краски из сухого порошка лучше выдержать смесь перед использованием в течение суток, за это время наполнители и стабилизаторы максимально

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

проявят свое действие. Однородность краски является важным условием для выполнения покрытия своих функций.

Идеально, если высушенные, готовые к формовке модели сразу задействовать для заливки, так как они приобретают гигроскопические (впитывающие) свойства.

Противопригарные краски помогают снизить процент не только пригара, но и других дефектов отливок: просечек, засоров, ужимин, газовой пористости при литье под низким давлением, что повышает качество чугунного, стального и цветного литья. При этом трудозатраты на очистку отливок снижаются в 5-10 раз.

Наиболее близким по технической сущности является способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) алюминиевых сплавов (RU2285577, В22С 9/04, опубл. 20.10.2006). [10]

Включающий сборку моделей и литниковой системы, нанесение на модель газопроницаемого противопригарного покрытия толщиной 0,1-0,3 мм, состоящего, мас. %: 2%-ный раствор поливинилбутирала в изопропиловом спирте 38-49, олифа 1-2, маршалит - остальное. Хотя указанный прототип и создает определенные условия для снижения пористости и некоторого увеличения механических характеристик отливок из алюминиевых сплавов, он имеет следующий ряд существенных недостатков: [10]

- состав противопригарного покрытия, хотя и является газопроницаемым, но, однако обладает повышенной газотворной способностью (спиртовой раствор ПВБ), что может вызвать склонность к образованию газовых раковин в отливках, получаемых методом литья по газифицируемым моделям;

- входящий в состав противопригарного покрытия спирт является пожароопасным материалом, а отверждение покрытия, основанное на удалении этого растворителя, требует наличия сушила с определенным температурно-временным режимом, что существенно ухудшает технологичность этой операции в литье по газифицируемым моделям;

- способ литья алюминиевых сплавов в прототипе не позволяет коренным образом уменьшить толщину противопригарного покрытия, в результате чего фильтрация газов через него в литье по газифицируемым моделям протекает кинетически более сложно и может вызвать образование литейных дефектов (недоливы, неметаллические включения, газовые раковины и др.), в особенности для сложно профильных тонко рельефных отливок ответственного назначения;

- способ литья алюминиевых сплавов прототипа не обеспечивает в должной степени модифицирование и легирование отливок, а, следовательно, не позволяет существенно улучшить физико-механические свойства, в том числе при высоких температурах, и качество литых заготовок для возрастающих нужд аэрокосмического комплекса и машиностроения. [5]

Изобретение решает задачу улучшения литейных и физико-механических свойств алюминиевых сплавов и повышения качества, получаемых из них литьем по газифицируемым моделям отливок ответственного назначения за счет противопригарного покрытия минимальной толщины, обладающего пониженной газотворностью и увеличенной газопроницаемостью, а также модифицирующим и легирующим воздействием на литейные алюминиевые сплавы.

Это достигается тем, что в способе литья алюминиевых сплавов по газифицируемым моделям, включающем сборку моделей и элементов литниковой системы, нанесение газопроницаемого противопригарного покрытия на модель, формовку модели в литейной форме в песке, заливку литейной формы металлом, согласно изобретению, на модель наносят химически отверждаемое противопригарное покрытие толщиной 0,06-0,09 мм с повышенной газопроницаемостью и минимальной газотворностью следующего состава, мас. %:

Таблица 1 - Состав противопопригарного покрытия

Водный раствор алюмоборфосфатного концентрата, %	60-65
Периклаз порошкообразный, %	1,5-2,0
Циклонная пыль шамотного производства	остальное

Противопригарное покрытие указанного состава является химически твердеющим и обеспечивает высокую технологичность операции нанесения покрытия на газифицируемую модель.

Покрытие минимальной толщиной 0,06-0,09 мм за счет явления «разжижения» покрытия под действием ультразвука интенсивностью 5-10 Вт/см² создает условия для существенного повышения газопроницаемости, что актуально для литья по газифицируемым моделям.

Применение в составе покрытия алюмоборфосфатного концентрата вызывает диффузионное насыщение алюминиевых сплавов бором, что положительно влияет на физико-механические свойства отливок.

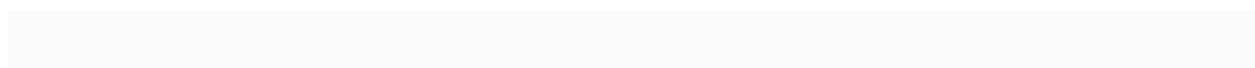
Для получения отливок из алюминиевого сплава способом литья по газифицируемым моделям производят сборку моделей и элементов литниковой системы. На собранные модели наносят газопроницаемое противопопригарное покрытие указанного состава. При подготовке покрытия в водный раствор АБФК засыпают циклонную пыль шамотного производства и перемешивают указанные ингредиенты в течение 10-30 мин до образования однородной суспензии. Затем вводят порошкообразный периклаз, перемешивают 1,5-2 мин. Во время нанесения покрытия на блок моделей воздействуют на указанную систему ультразвуком интенсивностью 5-10 Вт/см². Для этого в ультразвуковую ванну заливают соответствующую суспензию и при воздействии ультразвуком окунают в нее подготовленный блок моделей. Продолжительность химического отверждения покрытия - 20-30 мин. Затем производят формовку модели в литейной форме в песке. Вакуумируют форму (разрежение 60-120 кПа) и заливают ее алюминиевым сплавом.

Количество водного раствора АБФК (алюмоборфосфатный концентрат) в покрытии - 60-65 мас. % обеспечивает требуемую текучесть противопригарного покрытия сложно профильной поверхности газифицируемых моделей. Количество порошкообразного периклаза 1,5-2,0% диктуется необходимостью затвердевания покрытия в пределах 20-30 минут (технологически оптимальное время).

Циклонная пыль шамотного производства является отходом производства шамотных изделий и, учитывая его дисперсность (средний размер частиц 5-10 мкм), химический и фазовый составы (оксиды алюминия и кремния, муллит), обладает эффективным противопригарным действием по отношению к заливаемым сплавам. Оптимальное количество циклонной пыли шамотного производства в покрытии диктуется необходимостью получения его требуемой толщины, обеспечивающей минимальную газотворность и максимальную газопроницаемость покрытия.

Интенсивность ультразвукового воздействия при нанесении покрытия на модель 5-10 Вт/см² обеспечивает эффект «разжижения» покрытия, уменьшение его толщины по сравнению с прототипом до величины 0,06-0,09 мм, а, следовательно, повышение его газопроницаемости и улучшение качества изготовления отливок способом литья по газифицируемым моделям.

При интенсивности меньше чем 5 Вт/см² воздействие на указанную систему малоэффективно. При увеличении интенсивности больше 10 Вт/см² существенно возрастают энергетические затраты. [5]



5. Исходные материалы для моделей

5.1. Полистирол

Изготовление моделей из пенопластов на основе эпоксидных смол, полиуретана, фенольно-резольных смол, полистирола и других материалов показало, что наиболее приемлемым для литья по газифицируемым моделям являются пенопласты на основе полистирола, так как они имеют наименьшую газотворную способность, минимальный негазифицируемый остаток после разложения и отличаются высокой скоростью газификации.

Полистирол - бесцветный и прозрачный пластик, растворяется в ароматических углеводородах, во многих эфирах и не растворяется в спиртах и бензине. При нормальных условиях полистирол представляет собой твердый упругий материал плотностью 1,05 г/см³. Температура его стеклования около 80 °С; при 80...90 °С он становится эластичным. Такие характеристики, как вид порообразователя и способ введения его в полистирол, молекулярный вес полистирольной основы и др., существенно влияют на свойства пенополистирола.

В 1831 г. из смолы *styrax* было получено новое органическое соединение, названное «стиролом», из которого в 1839 г. впервые был получен полимер полистирол - одно из первых синтетических высокомолекулярных соединений, синтезированных человеком. Строение полистирола было впервые установлено в 1911-1913 гг. русским ученым И.И.Остромысленским. Первые промышленные полимеры, были получены в условиях, при которых отсутствовали термодинамические ограничения со стороны участвующих реагентов, поэтому полистирол удалось синтезировать примерно за 100 лет до открытия термодинамической теории полимеризации. И только в 1948 г. с развитием физикохимии полимеров начались детальные исследования в области термодинамики полимеризационных процессов, результатом которых стало открытие равновесного состояния системы «полимер – мономер. [4]

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

5.2 Методы изготовления полистирола

5.2.1 Прессовый метод

Эмульсионный полистирол механически смешивают с порообразующим веществом и другими добавками. Затем смесь прессуют при нагревании. Выделяющиеся продукты распада порообразователя насыщают расплавленный полистирол. После охлаждения получают заготовки полистирола, которые при повторном нагреве в замкнутом объеме пресс-форм вспениваются, заполняя ее полость. Этим методом получают пенопласты ПС-1, ПС-2, ПС-3. При большом молекулярном весе исходного эмульсионного полистирола и значительной плотности вспененного материала (0,08...0,2 г/см³) пенополистирол невозможно использовать для литья по газифицируемым моделям.

5.2.2. Беспрессовый метод

Этим методом получают модели как газифицируемые, так и предварительно удаляемые из литейной формы растворением или выжиганием. Исходным материалом является суспензионный или бисерный полистирол ПСБ для вспенивания, изготавливаемый в виде гранул, в замкнутых ячейках которых содержится порообразователь (легкокипящий компонент). [4]

6. Деструкция полистирола

Неизбежность деструкции (лат. *Destructio* - разрушение) полистирола обусловлена самой сущностью полимеризационных пластмасс. Под воздействием внешних факторов (тепло, свет, радиация, механические и биологическое воздействие и т. д.) у всех полимеров, в том числе и у полистирола происходят разрушения макромолекул (отщепление микрорадикалов и деполимеризация) в результате чего изменяются химико-физические и эксплуатационные свойства. Деструкция пенополистирола существенным образом отличается от деструкции полистирола. В первую очередь это обусловлено развитой наружной поверхностью, характерной для всех вспененных пластмасс.

6.1. Термическая деструкция пенополистирола

Термическая деструкция - это реакция разрыва цепей под влиянием тепловой энергии. Для полимерных материалов большое значение имеет их термостойкость — устойчивость к термической деструкции. Термостойкость зависит от химического строения полимеров. Более устойчивы к действию тепловой энергии углерод-углеродные связи. Поэтому карбоцепные полимеры более термостойки, чем гетероцепные

Пенополистироловая модель при заливке разрушается, и продукты этого процесса удаляются из формы газовым потоком. Процесс разрушения модели в форме сложен, характеризовать его только как газификацию было бы неправильно, хотя сам термин «газифицируемые модели» прочно вошел в терминологию литейного производства. В процессе нагрева в полистироле происходят фазовые, а затем химические превращения. При 164 °С он плавится, при 316 ° разлагается, а при 576 °С горит и разрушается до водорода и углерода. Процесс термического разрушения полистирола, являющегося твердой основой модельного материала, подчиняется законам теплообмена и

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

зависит как от мощности источника тепловой энергии и начальных условий окружающей среды (газового состава атмосферы и давления), так и от теплофизических констант самого вещества (теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности). На механизм и кинематику процессов термического разрушения будут влиять также химические и фазовые превращения, происходящие при нагреве вещества.

6.2. Деструкция пенополистирола в условиях медленного нагрева

При медленном нагреве до температуры выше 80 °С пенополистирол размягчается настолько, что пары порообразователя прорывают стенки формы и улетучиваются, в результате чего пенополистирол постепенно уменьшается в объеме более чем в 40 раз. При дальнейшем нагреве пенополистирол теряет весь порообразователь и воздух и по существу превращается в полистирол, который не имеет определенной точки плавления, однако около 164 °С полностью переходит в жидкое подвижное состояние; при этом его молекулярный вес остается постоянным. При термической деструкции полистирола в условиях вакуума и температурах нагрева до 350...420 °С происходит выделение четырех фракций. Самая летучая фракция состоит из окиси углерода, образующейся в результате взаимодействия полистирола с адсорбированным кислородом. Две следующие фракции имеют одинаковый молекулярный вес (263...264), но обладают различными структурами и летучестью. Первая фракция летуча как при температуре реакции (350...420 °С), так и при комнатной температуре (20 °С). Она состоит из 92...96 % стирола (мономера), 4...8 % толуола и содержит следы этилбензола и метилстирола. Вторая фракция летуча только при температуре реакции; в ее состав (наряду с мономером стиролом) входят димер (19,32 %), тример (23,08 %) и тетрамер (3,85 %). Четвертая жидкая фракция не летуча и состоит из осколков полимерной цепи с молекулярным весом около 2 000. Условия опыта не дали произвести полный анализ продуктов деструкции пенополистирола, однако было

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

установлено, что при 1000 °С газотворность пенополистирола составляет 105 см³/г, а не газифицируемый остаток 0,015 % общей массы.

По данным исследований методом термического дифференциального анализа пенополиуретана и фенольно-резольного пенопласта эти пенопласты образуют большой не газифицируемый остаток (14 и 44 % соответственно) и обладают высокой газотворностью (730 и 600 см³ / г при 1000 °С), а поэтому мало приемлемы для изготовления газифицируемых моделей.

6.3. Высокотемпературная деструкция пенополистирола

Высокотемпературная фаза деструкции пенополистирола хорошо и обстоятельно исследована. Она начинается при температуре +160°С (механохимическая деструкция). С повышением температуры до +200 С° начинается фаза термоокислительной деструкции. Выше +260 С° преобладают процессы термической ции и деполимеризации. В связи с тем, что теплота полимеризации полистирола и поли "α" метилстирола одни из самых низких среди всех полимеров (71 и 39 кДж/моль соответственно), в процессах их ции преобладает деполимеризация до исходного мономера - стирола. [6]

Экспериментальная часть

7. Описание установки

Установка для определения температуры начала плавления и начала деструкции пенополистирола представлена на рисунке 4, состоит из печи сопротивления 1 и нагреваемой на ней стальной плиты 2. Температура поверхности нагреваемой плиты определялась с помощью термопары (алюмель-хромель) 3 и терморегулятора 4 (ТРМ-500).

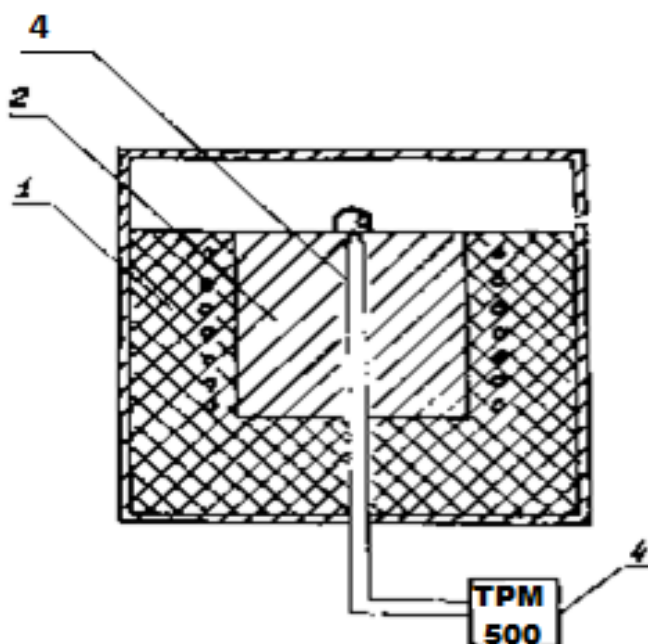


Рисунок 4 - Установка для определения температуры начала плавления и температуры начала деструкции пенополистирола.

8. Проведение опытов

Для определения температуры начала плавления и начала деструкции были изготовлены образцы размером 17*18*12мм из литейного пенополистирола ПСВ-Л. Образцы вырезались с помощью нагретой проволоки из плиты литейного пенополистирола.

Таблица 2 - Масса литейного образцов, кг.

№ образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Масса, кг.	0,1412	0,1209	0,1365

Таблица 3 - Объем вытесняемый образцом, мл.

№ образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Вода	2,6	2,8	2,5
Спирт	2,5	2,75	2,45

Из полученных данных таблицы 2 и таблицы 3 находим плотность образцов по формуле:

$$\rho = m/V,$$

где ρ - плотность образца, m - масса образца, V - объем образца.

В спирте: $\rho_1 = 0,1412/2,5 = 0,0564 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 0,1209/2,75 = 0,0439 \text{ кг/м}^3$; $\rho_3 = 0,1365/2,45 = 0,0557 \text{ кг/м}^3$.

В воде: $\rho_1 = 0,1412/2,6 = 54,3 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 0,1209/2,8 = 43,1 \text{ кг/м}^3$; $\rho_3 = 0,1365/2,5 = 54,6 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 4 - Плотность образцов, кг/м³.

№ образца	Вода	Спирт
Образец 1	54,3	56,4
Образец 2	43,1	43,9
Образец 3	54,6	55,7

Для дальнейших описаний берем среднее значение и плотности образцов измеренных в спирте. $M_{\text{ср.}} = (0,1412 + 0,1209 + 0,1365)/3 = 0,1328 \text{ кг}$. $\rho_{\text{ср.}} = (56,4 + 43,9 + 55,7)/3 = 52 \text{ кг/м}^3$.

Образец помещали на стальную плиту, нагретую до 80⁰С и продолжали нагревать до полного его испарения. Во время проведения опытов производилась видео съемка. После того как все опыты были сделаны по видеозаписям были проведены анализ и определение температур начала плавления и начала деструкции пенополистирола. По данным опытов были определены средние температуры начала плавления и начала деструкции. На основании полученных результатов был сделан график зависимости температур начала плавления и начала деструкции пенополистирола.

В ходе опытов было сожжено 10 образцов литейного пенополистерола ПСВ-Л.

9. Анализ полученных результатов

Таблица 5 - Полученные в результате экспериментов температуры начала плавления и начала деструкции пенополистирола

№ образца	Т нач. плав, °С	Т нач. дестр, °С	Т сред. Нач. плав, °С	Т сред. Нач. дестр, °С
1	117,2	284,2	114,67	270,22
2	110,8	276,9		
3	116,9	269,3		
4	116,8	267,9		
5	117,4	269,3		
6	116,7	278,2		
7	109,6	261,7		
8	120,1	267,9		
9	105,6	258,5		
10	115,6	268,3		

По данной таблице построен график.

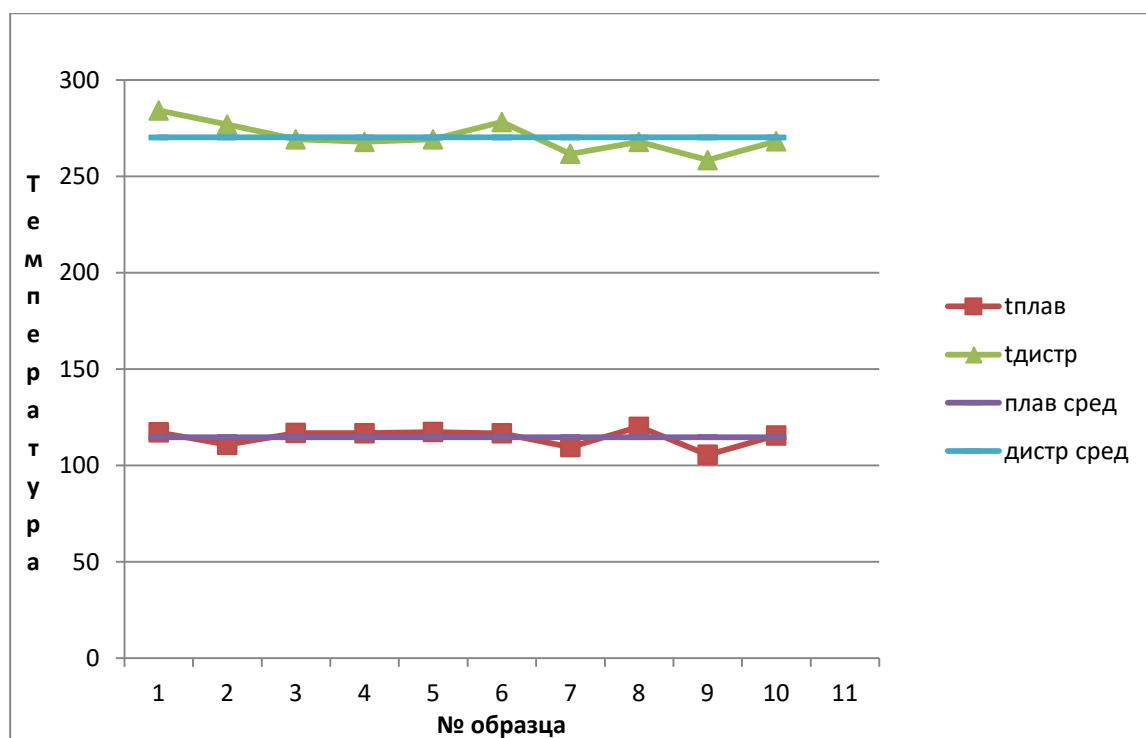


Рисунок 5 - График зависимости температуры начала плавления и начала деструкции от номера образца и их среднее значение.

Проанализировав все заснятые опыты, данные опытов представлены в таблице 3, были вычислены средние температуры начала плавления и начала деструкции пенополистирола. На основании полученных результатов был построен график зависимости температуры начала плавления и температуры начала деструкции от номера образца.

На графике зеленой ломаной линией показана температура начала деструкции по результатам опытов. Прямой синей линией показана средняя температура начала деструкции образцов. Красной ломаной линией показана температура начала плавления образцов. Фиолетовой линией обозначена средняя температура начала плавления пенополистирола.

Средняя температура начала плавления равна 114,67°C. Максимальная температура начала плавления наблюдалась у образца № 8 и составляла 120,1°C. Минимальная температура была у образца № 9, равная 105,6°C.

Средняя температура начала деструкции равна 270,22°C. Максимальная температура начала деструкции была у образца № 1 и равнялась 284,2°C.

Минимальная температура была выявлена у образца № 9 и составляла 258,5°C.

Из полученных результатов виден большой разбег значений. Это объясняется погрешностями, полученными в ходе экспериментов. Рассчитаем эти погрешности.

1. Находим среднее арифметическое по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где n- количество образцов;

x_i – данные результатов измерений.

2. Находим случайные отклонения по формуле:

$$\varepsilon_i = x_i - \bar{x},$$

где \bar{x} - среднее значение опытных данных.

3. Вычислить квадраты случайных отклонений ε_i^2

4. Вычислить значение S по соотношению по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2},$$

где n- количество образцов;

ε_i^2 - квадрат случайных отклонений.

5. При n = 10 задать доверительную вероятность $\alpha = 0,95$ и по таблице 6 выбрать значение коэффициента Стьюдента.

6. Найти случайную погрешность среднего арифметического (оценочное значение абсолютной погрешности) по формуле:

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$\Delta x_0 = tS,$$

где t- коэффициент Стьюдента;

S - среднее квадратичное отклонение.

Таблица 6 - Значение коэффициентов Стьюдента.

n	α		n	α	
	0,90	0,95		0,90	0,95
2	6,3	12,7	18	1,7	2,1
3	2,9	4,3	19	1,7	2,1
4	2,4	3,2	20	1,7	2,1
5	2,1	2,8	21	1,7	2,1
6	2,0	2,6	22	1,7	2,1
7	1,9	2,4	23	1,7	2,1
8	1,9	2,4	24	1,7	2,1
9	1,9	2,3	25	1,7	2,1
10	1,8	2,3	26	1,7	2,1
11	1,8	2,2	27	1,7	2,1
12	1,8	2,2	28	1,7	2,0
13	1,8	2,2	29	1,7	2,0
14	1,8	2,2	30	1,7	2,0
15	1,8	2,1	40	1,7	2,0
16	1,8	2,1	60	1,7	2,0
17	1,7	2,1	100	1,7	2,0
			∞	1,6	2,0

Все вычисления по определению погрешности представлены в таблице 7 и таблице 8.

Таблица 7- Погрешность измерений температуры начала плавления.

№	$T_i, ^\circ\text{C}$	$T_{cp}, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_i, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_i^2, ^\circ\text{C}$	$S, ^\circ\text{C}$	$t, (a=0,95)$	$\Delta t_0, ^\circ\text{C}$
1	117,2	114,67	2,53	6,4009	1,4772	2,3	3,2595
2	110,8		-3,87	14,9769			
3	116,9		2,23	4,9729			
4	116,8		2,13	4,5369			
5	117,4		2,73	7,4529			
6	116,7		2,03	4,1209			
7	109,6		-5,07	25,7049			
8	120,1		5,43	29,4849			
9	105,5		-9,07	82,2649			
10	115,6		0,97	0,8649			

Таблица 8 - Погрешность измерений температуры начала деструкции.

№	$T_i, ^\circ\text{C}$	$T_{cp}, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_i, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_i^2, ^\circ\text{C}$	$S, ^\circ\text{C}$	$t, (a=0,95)$	$\Delta t_0, ^\circ\text{C}$
1	284,2	270,22	13,98	22,1841	2,4263	2,3	5,5804
2	276,9		6,68	34,9281			
3	269,3		-0,92	0,1521			
4	267,9		-2,32	3,6481			
5	269,3		-0,92	68,7241			
6	278,2		7,98	38,3161			
7	261,7		-8,52	32,6041			
8	267,9		-2,32	0,1521			
9	258,5		-11,72	0,6561			
10	268,3		-1,92	14,3641			

Исходя из полученных расчетов, погрешность температуры начала плавления равна 3,2995 °С. Погрешность температуры начала деструкции равна 5,5804 °С. Полученные погрешности объясняются неодинаковыми условиями проведения экспериментов (атмосфера цеха).

10. Определение скорости плавления пенополистирола

Скорость плавления пенополистирола определяют по времени плавления образца известной длины, помещенного на нагретый до заданной температуры нагреватель, от момента контакта образца с нагревателем и до полной потери исходного состояния. Исследованиями установлено что, при заполнении формы металлом модель обычно плавится последовательно, нагреваясь с одной из поверхностей. Поэтому принятый метод моделирует процесс плавления модели в форме при заполнении ее металлом.

Для определения скорости плавления пенополистирола изготавливаются образцы размером 15×15×200 мм. Образцы вырезают нагретой проволокой из плиты пенополистирола или изготавливают в пресс-формах по принятым режимам предварительного вспенивания и окончательного формования, если испытание проводится для случая изготовления моделей из гранул в пресс-формах.

Установка для определения скорости плавления (рисунок 6) пенополистирола состоит из печи 1 и нагреваемого в ней массивного металлического блока 2. Температура поверхности блока измеряется установленной в него термопарой 3 и терморегулятором ТРМ-500 (4). Образец 5 закрепляют на заостренном конце металлического штока 6 и помещают в кварцевую трубку 7. Перед испытанием металлический блок разогревают до заданной температуры, кварцевую трубку закрепляют на штативе 9. Образец отпускают до соприкосновения с блоком. Перемещение образца фиксируется датчиком 8 и регистрируется осциллографом 10. При проведении испытаний при высоких температурах внутрь трубки под небольшим давлением подают инертный газ для предотвращения горения образца. Скорость плавления вычисляют по формуле:

$$v_{пл} = \frac{l_{об}}{\tau_{пл}},$$

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

где: $l_{об}$ - длина образца;

$\tau_{пл}$ - время плавления образца.

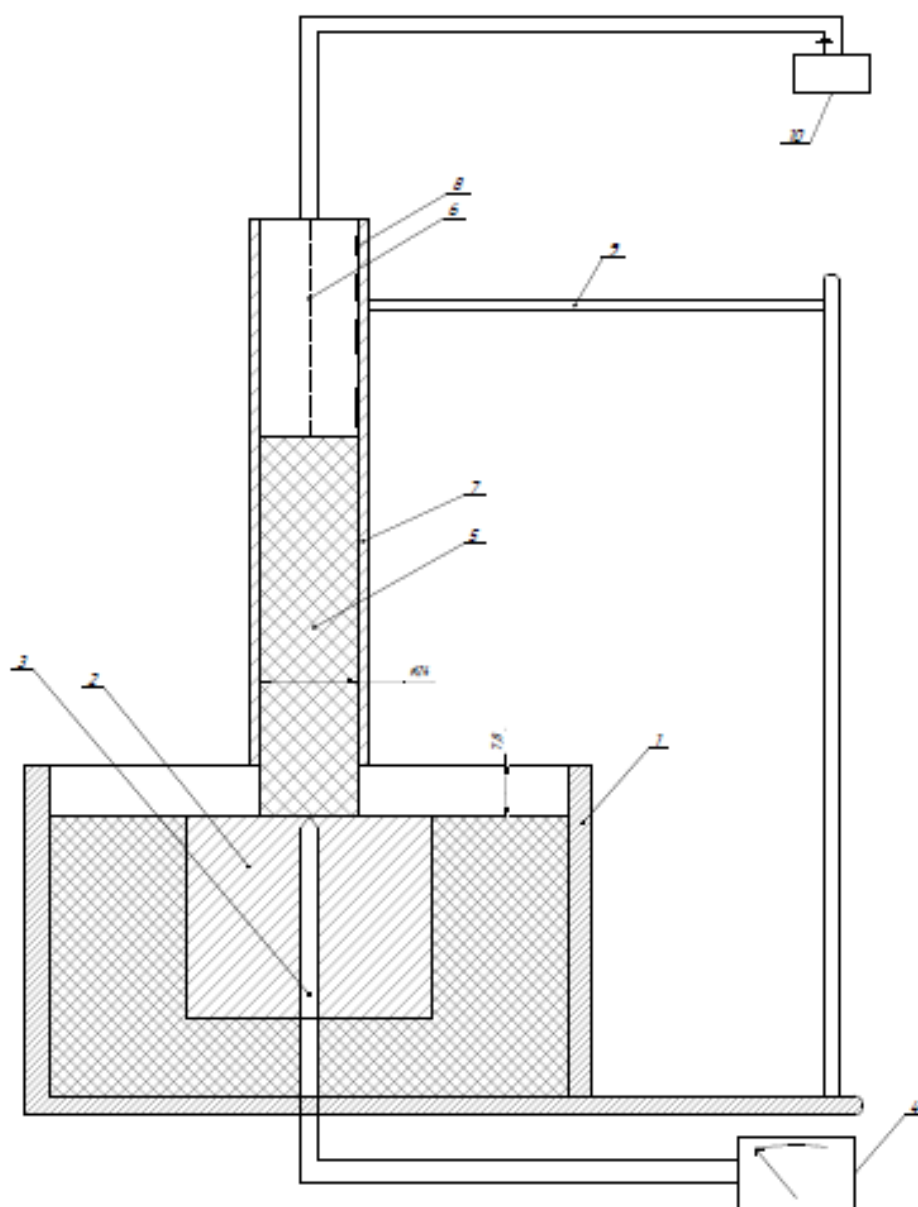


Рисунок 6 - Установка для определения скорости плавления.

За результат определения принимают среднее арифметическое пяти испытаний. При отклонении результатов определений более чем на 15% их отбрасывают, однако число оставшихся определений должно быть не менее трех.

В соответствии с техническими условиями скорость плавления материала модели определяется при контакте образца пенополистирола с нагретой поверхностью нагревателя. Однако в реальных условиях при заполнении формы жидким металлом модель часто плавится под действием лучистой энергии металла, непосредственно с ним не контактируя. При этом существенную роль в процессах теплообмена между зеркалом металла и поверхностью плавления образца играет степень черноты ее полного нормального излучения. Для сравнительной оценки этой характеристики пенополистирола в зависимости от различных факторов использовали приближенный метод, основанный на принципе, предложенном Д. Т. Кокоревым. Установка представляет собой нагревательную печь с массивным металлическим блоком из окалиностойкой стали. В поверхность блока зачеканена термопара, показания которой фиксируются гальванометром. Внутри шамотной трубки устанавливают образец пенополистирола с заделанной на определенной глубине термопарой, показания которой записываются самописцем типа НЗ-73. По записи показаний термопары фиксируется время прохождения фронтом плавления плоскости расположения термопары в образце испытуемого материала. В каждом опыте точно фиксируется температура металлического блока, которая находится в пределах 900-1000 °С, расстояние от поверхности излучателя до облучаемого образца, глубина расположения спая термопары в образце. Степень черноты полного нормального излучения поверхности плавления пенополистирола определяется сравнением количества теплоты поглощенной образцом ($Q_{обр}$) и переданной излучением ($Q_{изл}$).

$$Q_{обр} = \frac{G_{л}}{\tau_{пл}} (c_{мод} (t_2 - t_1) + r),$$

где $G_{л}$ – масса расплавившегося слоя образца;

$c_{мод}$ – теплоемкость пенополистирола;

r – теплота плавления пенополистирола;

t_1 – начальная температура;

t_2 – температура плавления пенополистирола;

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

$\tau_{пл}$ – время плавления слоя образца, которое определяется экспериментально из опыта.

$$Q_{изл} = 4,9 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varphi_{12} \cdot \left(\frac{T_u}{100} \right)^4 \cdot F_{2n},$$

где ε_2 – степень черноты поверхности плавления, которую необходимо определить;

φ_{12} – взаимный коэффициент облученности поверхности пенополистирола и расплава;

T_u – температура излучателя;

F_{2n} – площадь облучаемой поверхности пенополистиролового образца.

Исследования показали, что значение степени черноты поверхности плавления для блочного пенополистирола и литейного пенополистирола находятся в пределах 0,22 – 0,34 и мало изменяются в зависимости от плотности пенополистирола.

Алюминиевый расплав в установке имитирует стальная пластина 1, нагревание которой до заданной температуры производилось установленным под ней электрическим нагревателем 2, который через блок управления 3 соединяется с источником питания напряжением 220 В. Для контроля температуры стальной пластины в нее зачеканена термопара ХА 4. Стальная пластина и нагреватель находятся в корпусе печи 5. Во избежание потерь тепла и нагрева корпуса печи он снабжен теплоизоляцией. В верхней части стальной пластины сделана проточка, в которую вставляется кварцевый цилиндр 6 с толщиной стенки 4 мм, в котором происходит плавление пенополистиролового образца 7 определенной массы. Давление расплавленного металла имитировалось специальным грузом 8, помещенным поверх пенополистиролового образца. Наглядный пример установки изображен на рисунке 7.

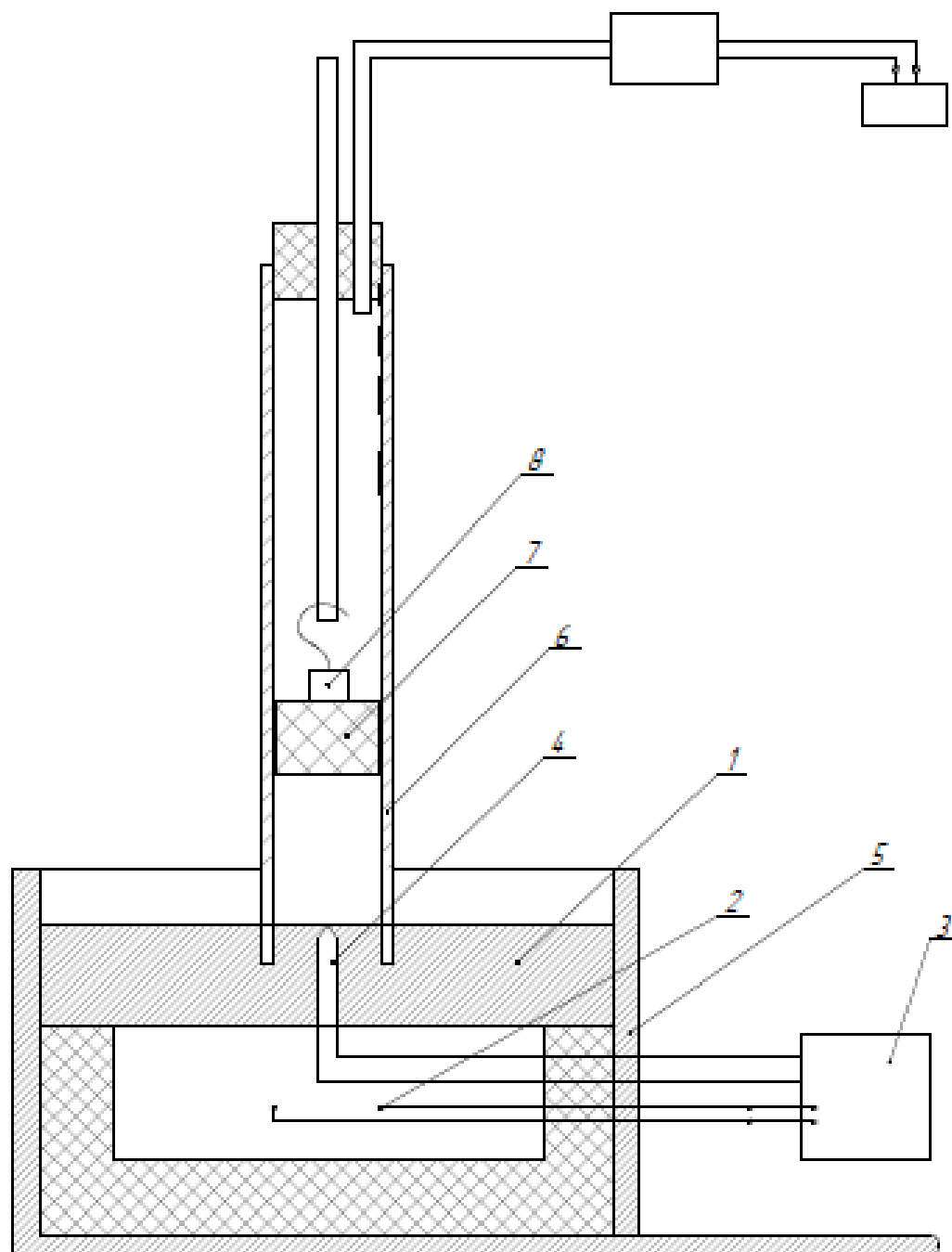


Рисунок 7 - Установка для определения скорости плавления.

Исследования проводились следующим образом.

Образцы вырезаются из плиты пенополистирола тонкой трубой внутренним диаметром 50 мм. Каждый образец зачищается от заусенцев шкуркой и подгоняются под диаметр кварцевой трубки, после чего образец взвешивается. Стальная пластина разогревается до нужной температуры, которая под-

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

держивается регулятором на одном уровне. На пластину устанавливается кварцевый цилиндр, в который опускается образец, придавливаемый сверху грузом. Время плавления образца засекается либо секундомером, либо электросекундомером.

Эксперимент проводился при температурах 400, 500, 600 и 700°C при массе груза 135 г.

Таблица 9 - Скорость плавления пенополистирола.

	Температура печи, °C	Масса образца, г.	Время плавления, сек	Скорость плавления, г/сек
	2	3	4	5
	400	1,6650	18,2	0,0915
		1,5650	15,3	0,1023
		1,4650	14,2	0,1032
		1,6820	16,2	0,1038
		1,3900	13,4	0,1037
		1,5520	15,2	0,1021
		1,6130	15,4	0,1047
	500	1,67360	10,0	0,1674
		1,52990	8,0	0,1912
		1,40630	9,6	0,1524
		1,49975	8,8	0,1704
		1,58915	11,2	0,1415
		1,69815	9,4	0,1807
		56330	9,2	0,1699

Продолжение таблицы 9

Окончание таблицы 9

	600	1,48345	6,0	0,2472
		1,69320	6,4	0,2646
		1,65915	5,8	0,2861
		1,60255	6,8	0,2357
		1,57450	7,2	0,2187
		1,50400	6,0	0,2507
		1,65295	6,2	0,2666
	700	1,56670	3,2	0,4429
		1,61325	3,6	0,4481
		1,66090	3,8	0,4392
		1,77240	4,2	0,4220
		1,52200	4,0	0,3805
		1,58940	3,5	0,4541
		1,73560	4,4	0,3947

Таким образом получив скорости плавления, найдем среднюю для каждой температуры: при температуре 400 °С средняя скорость плавления составила 0,1016 г/сек; при температуре 500 °С средняя скорость плавления составила 0,1676 г/сек; при температуре 600 °С средняя скорость плавления составила 0,2528 г/сек; при температуре 700 °С средняя скорость плавления составила 0,4259 г/сек . Проведя все исследования и получив скорости плавления, мы можем сказать, что, при увеличении температуры увеличивается и скорость плавления.

Методическая часть

11. Лабораторная работа на тему: «Литьё по газифицируемым моделям.»

Очень часто возникает необходимость в разовых, единичных отливках тех или иных деталей. В этих случаях по традиционной технологии приходится предварительно делать деревянные модели для получения наружного отпечатка в литейной форме и стержневые ящики для образования внутренних полостей отливки. Трудоёмкость изготовления модельных комплектов в три – пять раз превышает трудоёмкость изготовления самой отливки. Для её уменьшения и снижения себестоимости разовых отливок можно делать модели не из дерева, а из пенополистирола, который газифицируется расплавленным металлом. В последние годы использование пенополистирола в качестве модельного материала получает всё большее распространение. Использование пенополистирола (пенопласта) обеспечивает возможность получения различных отливок в неразъёмных формах без извлечения модельных комплектов из форм, без формовочных уклонов и с минимальными припусками на механическую обработку.

Пенополистирол – материал легко формирующийся, а это значит, что из него можно изготовить модели сложной конфигурации.

При литье по газифицируемым моделям для изготовления моделей применяется бисерный пенополистирол в виде гранул, в замкнутых ячейках которых содержится порошкообразный наполнитель (легкоплавкий компонент).

При этом для газифицируемых моделей применяют пенополистирол с объёмной массой 0,015–0,025 г/см³. Пенополистирол с большим удельным весом не содержит количества воздуха, необходимого для его сжигания, такой пенополистирол лишь расплавляется, не сгорая, тем самым заполняет часть формы и приводит к браку при отливке детали. Пенополистирол с

меньшим удельным весом при формовке деформируется, что приводит к искажению формы и размеров отливки.

Применение пенополистироловых моделей сокращает трудоёмкость формовочных работ на 80 %, объём обрубных и зачистных работ на 70 %. Достоинство пенополистироловых моделей – их способность не усыхать и не набухать от влаги. Это исключает коробление при транспортировке и, особенно, при хранении. При отливке деталей со сложной конфигурацией внешних и внутренних обводов модель может быть изготовлена частями, которые собираются во время формовки.

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определённой скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведёт к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

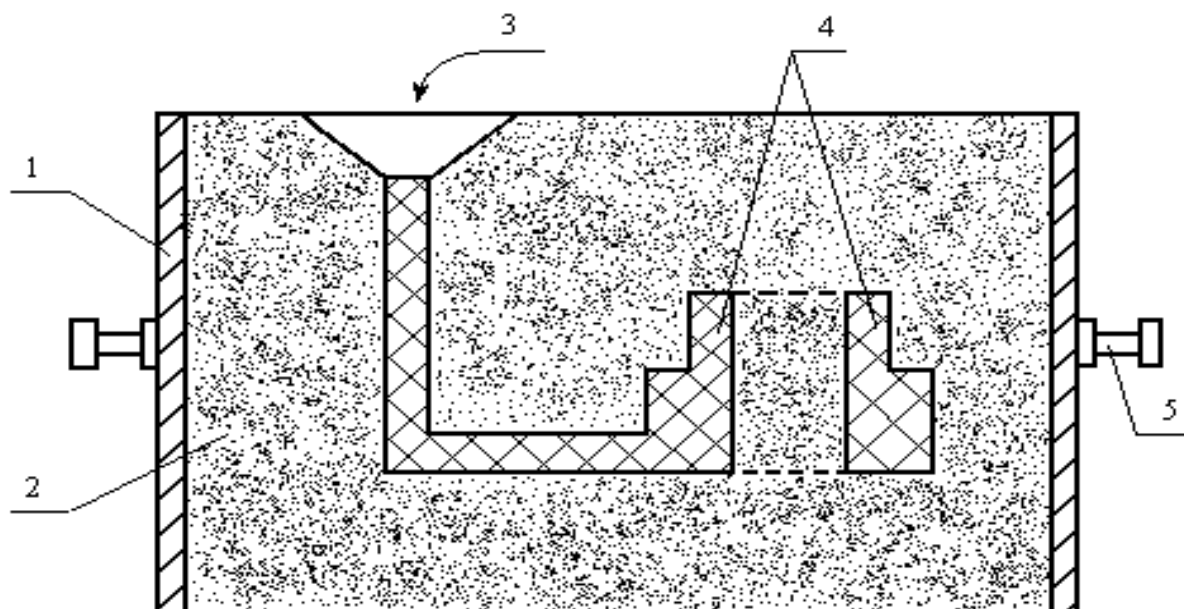


Рисунок 8 - Неразъёмная форма с пенополистироловой моделью: 1 – опока; 2 – формовочная смесь; 3 – расплавленный сплав; 4 – модель из пенополистирола (пенопласта); 5 – цапфы.

Другим существенным недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками. На дно опоки, вставленной внутрь соленоида, присоединённого к сети переменного тока, насыпают слой железного порошка, ставят на него пенопластовую модель с литниковой системой и засыпают её доверху тем же железным порошком (опилками), затем включают ток, превращающий железный порошок в монолит, и заливают расплавленный металл, мгновенно сжигающий пенопласт. Как только отливка чуть затвердеет, ток выключают, и форма вновь становится порошком.

На установке успешно отливались магниевые блоки для автомобильных двигателей, причём качество не уступало кокильному литью. Отсутствие дорогостоящих кокилей, простота и универсальность магнитных форм с использованием газифицируемых моделей позволили снизить себестоимость продукции ровно вдвое.

Задание и методические указания по выполнению работы

1. Подготовить формовочную смесь для формовки. Для этого её необходимо разрыхлить, удалить металлические включения в виде капель и приливов. Формовочная смесь должна быть совершенно сухой.
2. Заформовать пенопластовые модели в формовочную смесь.
3. Проследить за заливкой металла, выполняемой мастером, и за остыванием отливок, засекая время по часам.
4. Отделённые от литниковой системы образцы подвергнуть испытанию на ударную вязкость с помощью маятникового копра и результаты свести в таблицу. Объясните причины различия результатов испытаний ударной вязкости.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Определить ударную вязкость отлитых образцов по формуле:

$$KC = A/S,$$

где:

A – работа, затраченная на излом образца [Дж];

S – площадь поперечного сечения образца [м²].

4. Описать ход экспериментальной части и результаты эксперимента с пояснениями, анализом и выводами. Объяснить, почему отливки имеют разную макроструктуру, ударную вязкость и качество поверхности.

5. Краткий вывод по результатам работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое газифицируемая модель?
2. Каковы преимущества литья по газифицируемым моделям по сравнению с литьём в песчаные формы?
3. Каковы недостатки литья по газифицируемым моделям по сравнению с литьём в песчаные формы?
4. Какой плотности пенополистирол применяется при изготовлении газифицируемых моделей?
5. Что произойдёт, если плотность пенополистирола будет больше или меньше, чем необходимо для нормального процесса литья?
6. Перечислите пути повышения производительности труда при использовании методов литья в кокиль и по газифицируемым моделям

Экологическая часть

Производство литья по газифицируемым моделям является почти безотходным и требует небольшого количества сопутствующих материалов по сравнению с кокильным литьем и методом литья по выплавляемым моделям. Кроме того, практически отсутствуют выбросы токсичных органических веществ в окружающую среду, в производстве не используются вредные смолы и токсичные материалы.

Таблица 10 - Отходы при ЛГМ процессах.

Отходы	Традиционный метод	ЛГМ-процесс
Пыль, кг	50	16
Оксид углерода, кг	250	-
Оксид серы, кг	1,5-2	0,2-0,3
Твердые отходы, кг	1200-1500	0,05— 0,1
Отработанная вода, м ³	0,3-0,5	-

Применение технологий литья по газифицируемым моделям - важный шаг в области охраны окружающей среды. ЛГМ-технологии активно применяются во всем мире.

В традиционном литейном производстве основной источник токсичных веществ, выделяемых в атмосферу, - это связующие материалы и синтетические смолы, используемые при изготовлении стержней и форм. При заливке, вредные вещества выделяются в воздух производственного помещения, и его очистка представляется довольно сложным мероприятием. При ЛГМ-процессе модель для отливки создается из пенополистирола. В процессе выжигания полистирол полностью разлагается на газообразные составляющие. Опoки с моделями для заливки подключены к вакуумной системе, поэтому все вредные газы поступают сразу в систему очистки, практически не попадая в помещения.

Литьё по газифицируемым моделям относится к малоотходному производству. Формовочный песок тщательно просеивается, подается элеваторами в охладитель, после чего возвращается на формовку. При этом удаляются вредные газы и пыль. Антипригарные покрытия на водных связующих практически не загрязняют песок и легко отделяются при просеивании и в системе охлаждения. Один-два раза в год песок очищают методом терморегенерации. Для удаления пыли на производствах используются аспирационные установки и циклоны с высокой степенью очистки. Многократное использование песка позволяет добиться минимальных потерь — всего 0,5-1 % (пыль кварцевого песка, остатки краски). На комплексах литья по газифицируемым моделям используется обратное водоснабжение плавильных печей.

Используемое тепло не утилизируется. Оно используется для обогрева производственных помещений, а также подается в помещения для сушки и хранения полистирольных моделей. Это позволяет значительно снизить внешнее водопотребление и слив отработанной воды в канализацию, а также минимизировать потребление электрической или тепловой энергии, требуемой для обогрева. Это скорее относится к косвенной защите окружающей среды. Водоснабжение не сильно влияет на экологичность производства, но снижение потребления энергии от внешних источников снижает вред, наносимый природе котельными или электростанциями.

При ЛГМ-процессе изначально отсутствуют синтетические смолы и другие связующие материалы, используется только чистый кварцевый песок. Модель для отливки создается из пенополистирола. В процессе выжигания полистирол полностью разлагается на газообразные составляющие. Опoki с моделями для заливки подключены к вакуумной системе, поэтому все вредные газы поступают сразу в систему очистки, практически не попадая в помещения. [7]

Таблица 11 - Состав продуктов термодеструкции при плотности модели 25
кг/м³, вес. %.

Продукты термодеструкции	700 °C
<i>Парообразные продукты термодеструкции</i>	
C_6H_6	13,0
	13,15
C_7H_8	4,35
	4,35
C_8H_8	69,40
	70,10
Итого:	86,75
	87,60
<i>Газообразные продукты термодеструкции</i>	
H_2	0,28
	0,22
CO	2,94
	3,74
CH_4	2,19
	1,49
C_2H_4	2,74
	2,12
C_2H_6	0,25
	0,75
C_2H_2	0,02
	0,03
$i - C_5H_{12}$	2,38
	2,25
Итого:	10,80
	10,60
Углерод	3,25
	1,80
Всего:	100

Примечание. Верхняя строка – результаты анализа при скорости подъема металла в форме 1,0 см/с, нижняя строка – 2,5см/с.

При термическом разложении пенополистирола, выделяются различные газо- и парообразные продукты, которые могут нести вред организму рабочего, а также атмосфере литейного цеха.

В таблице 11, приведен список всех веществ, выделяемых при термодеструкции пенополистирола, а также их количества. Далее приведем описание каждого из этих веществ:

- H_2 (водород) – легкий бесцветный газ, нетоксичен и не взрывоопасен в малых количествах;
- CO (угарный газ) – бесцветный газ, без запаха, со слегка кисловатым вкусом. В наших исследованиях было замечено незначительное повышение концентрации до 3,7%, что может приводить к развитию у человека сонливости и слабости;
- CH_4 (метан) – простейший углеводород, бесцветный газ, без запаха. Метан одновременно и взрывоопасен, и потенциально ядовит для человека, но в количестве 2,19% не причиняет человеку вреда;
- C_2H_4 (этилен) – бесцветный горючий газ со слабым запахом. Этилен обладает наркотическим действием, класс опасности – четвертый.
- C_2H_6 (этан) – по сравнению с метаном он взрывоопасен и мало токсичен. Класс опасности – четвертый;
- C_2H_2 (ацетилен) – бесцветный газ, легче воздуха, взрывоопасное вещество при температуре свыше $500^{\circ}C$, взрывоопасность уменьшается при разбавлении его другими газами (азот, метан и пропан);
- C_5H_{12} (пентан) – обладает наркотическим действием, но в малых количествах не опасен. Класс опасности – четвертый;
- C_6H_6 (бензол) – при непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, поэтому порядок работ с бензолом не

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

регламентирован. В больших количествах вызывает тошноту и головокружение, а в особо тяжких случаях смертельный исход;

- C_7H_8 (толуол) – бесцветная подвижная летучая жидкость, с резким запахом. Является сильным токсичным ядом;
- C_8H_8 (стирол) – токсичен, класс опасности – третий. Практически все реакции, которые подвергаются данные вещества, несут потенциальную угрозу здоровью и даже жизни человеку.

Из выше перечисленных продуктов реакции самым опасным является стирол, при содержании его 70,10%. Он представляет основную угрозу для организма рабочего и для атмосферы цеха, но также является главным компонентом для производства пенополистирола. Таким образом данный способ литья (ЛГМ) является достаточно вредным с точки зрения экологии несмотря на все его преимущества.

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В данной дипломной работе был изучен способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ-процесс). Были определены основные преимущества и недостатки данного способа литья, технологические особенности ЛГМ-процесса, материалы для изготовления моделей (в данном случае литейный пенополистирол марки ПСВ-Л). Рассмотрена деструкция пенополистирола. Определена температура начала плавления и начала деструкции пенополистирола. Определены погрешности измерений температуры начала плавления и начала деструкции пенополистироловых образцов, скорость плавления пенополистирола. В методической части разработана лабораторная работа на тему: «Литьё по газифицируемым моделям.».

					44.03.04. 159 ПЗ	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список использованных источников

1. Специальные способы литья: учебник / Б.С. Чуркин [и др.]; под редакцией Б.С. Чуркина Екатеринбург : Издательство Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010 . 731 с.
 2. Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А. Литье по моделям из пенополистирола. М.: Машиностроение, 1970.
 3. Конспект лекций по дисциплине «Специальные методы литья» / Авт. Зборщик А.М. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2007. – 158 с.
 4. УДК 681-581. Литье по выжигаемым моделям: Учебное пособие для студентов специальности 110400 литейное производство черных и цветных металлов // Сост. В.М. Григорьев. — Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002.
 5. Выбор составов для покрытия поверхности литейных форм, стержней или моделей. Знаменский Л. Г., Варламов А. С. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (национальный исследовательский университет) (ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" (НИУ)).
 6. Методические указания. Высокомолекулярные соединения и их применение в строительстве. Составители: И.Е. Матин, И.В. Власенко. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет», 2011.
 7. Шуляк В.С. Литьё по газифицируемым моделям. СПб.: НПО «Профессионал», 2007.— 408 с.
 8. [Электронный ресурс] / <http://gefestcast.com/protivoprigarnyje-kraski-dlja-litja-metallov/>.
 9. [Электронный ресурс] / <http://docs.cntd.ru/document/1200024929/>.
- 10

